

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar Saúde, Sociedade e Ambiente

Mariana de Oliveira Freitas

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE GEOQUÍMICA AMBIENTAL DA ÁGUA
SUPERFICIAL DO RIO JEQUITINHONHA SOB IMPACTO DE ATIVIDADE
GARIMPEIRA**

Diamantina
2017

Mariana de Oliveira Freitas

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE GEOQUÍMICA AMBIENTAL DA ÁGUA
SUPERFICIAL DO RIO JEQUITINHONHA SOB IMPACTO DE ATIVIDADE
GARIMPEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Saúde, Sociedade e Ambiente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof.^ª Dr.^ª Rosana Passos Cambraia
Coorientador: Prof.^º Dr. Hernando Baggio Filho

**Diamantina
2017**

Ficha Catalográfica – Sistema de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecária: Jullyele Hubner Costa CRB-6/2972

F866a Freitas, Mariana de Oliveira.

Avaliação da qualidade geoquímica ambiental da água superficial do Rio Jequitinhonha sob impacto de atividade garimpeira / Mariana de Oliveira Freitas – Diamantina, 2017.

107 p. : il.

Orientadora: Rosana Passos Cambraia

Coorientador: Hernando Baggio Filho

Dissertação (Mestrado Profissional - Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente) –Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

1. Água superficial. 2. Contaminação. 3. Garimpo. 4. Metais pesados. 5. Rio Jequitinhonha. I. Cambraia, Rosana Passos. II. Baggio Filho, Hernando. III. Título.

CDD 551.9

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

MARIANA DE OLIVEIRA FREITAS

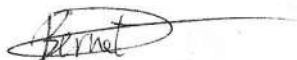
**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE GEOQUÍMICA AMBIENTAL DA ÁGUA
SUPERFICIAL DO RIO JEQUITINHONHA SOB IMPACTO DE ATIVIDADE
GARIMPEIRA**

Dissertação apresentada ao PROGRAMA DE PÓS
GRADUAÇÃO EM SAÚDE, SOCIEDADE E
AMBIENTE - STRICTO SENSU, nível de MESTRADO
como parte dos requisitos para obtenção do título de
MAGISTER SCIENTIAE EM SAÚDE, SOCIEDADE E
AMBIENTE

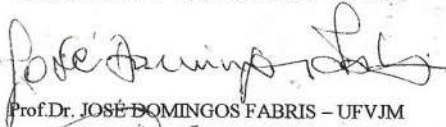
Data da aprovação : 14/08/2017

Orientador: Prof.^a Dr.^a Rosana Passos Cambraia

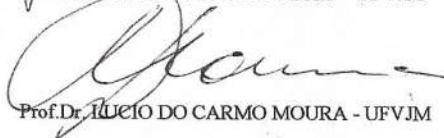
Coorientador: Hernando Baggio Filho



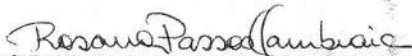
Prof.Dr. BERNAT VINOLAS PRAT - UFVJM



Prof.Dr. JOSÉ DOMINGOS FABRIS - UFVJM



Prof.Dr. LUCIO DO CARMO MOURA - UFVJM



Prof.^a Dr.^a ROSANA PASSOS CAMBRAIA - UFVJM

DIAMANTINA:

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por me abençoar e encorajar em todos os momentos.

Aos meus pais por me apoiarem na continuação de minha caminhada acadêmica, obrigada por acreditarem em mim, vocês são minha base e meu porto seguro.

Aos meus irmãos, por mais uma vez demonstrarem boa vontade em ajudar de alguma forma nos momentos que precisei. Obrigada pelo exemplo que vocês são para mim.

Ao Pedro, por chegar e tornar os meus dias mais felizes e alegres, obrigada por seu amor, por sua companhia especial e pela sua paciência.

À minha orientadora, Prof^a Rosana Cambraia, pelo seu jeito sutil e atencioso em conduzir seus ensinamentos e pelos conselhos, confiança, atenção e grande colaboração.

Ao meu coorientador, Prof^o Hernando Baggio, por está sempre presente desde a graduação. Agradeço de coração o seu incentivo para a continuação de minha trajetória acadêmica, e por todos os seus ensinamentos, conhecimentos, conselhos e colaboração, principalmente no trabalho de campo.

À minha amiga e colega de mestrado, Amanda Dias, pelo seu total companheirismo desde a graduação. Obrigada pela sua amizade, pelas nossas conversas e trocas de conhecimento e pelo apoio nas horas de incerteza. Sua presença e ajuda foi essencial para a concretização desse trabalho.

Ao Prof^o, Lúcio Moura, pelos ensinamentos e apoio na elaboração dos mapas.

Ao Abrão Silva, pela contribuição nas análises das amostras em laboratório, e pela paciência, colaborações e disponibilidade.

Aos meus queridos amigos da Geografia que estão sempre presentes na minha vida, agradeço pela torcida, apoio em todos os momentos e pelo carinho.

Às minhas amadas primas e amigas, que estão sempre comigo, obrigada pelas conversas, pelo apoio, amizade e carinho compartilhados diariamente.

Ao Igor, pela gentil ajuda na elaboração dos gráficos e pela disponibilidade sempre, ao Welbert pela colaboração no trabalho de campo e ao Átila pela tradução do resumo.

À Cooperativa de Garimpeiros de Diamantina, por todo apoio concedido, ao Laboratório de Geoquímica Ambiental e Laboratório Integrado de Pesquisa Multiusuário dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri pela colaboração nas análises das amostras.

Ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar Saúde, Sociedade e Ambiente pela oportunidade, à PRPPG/UFVJM e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

“ Que comece agora. E que seja permanente essa vontade de ir além daquilo que me espera”.

Caio Fernando Abreu

RESUMO

O garimpo denominado Areinha está inserido na bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha, bacia que se estende desde a porção nordeste do Estado de Minas Gerais até o sul do Estado da Bahia (fz), cujas águas drenam áreas urbanas, latifúndios, minifúndios e áreas de garimpos que afetam diretamente as características ambientais do recurso hídrico. A modificação das atividades de garimpo, anteriormente manuais e atualmente predominantemente mecanizadas, intensificou os impactos ambientais negativos nessa região, em consequência da necessidade de remoção de grandes quantidades de sedimentos do fundo do rio para a extração do diamante. Tendo em vista as particularidades naturais e as características antrópicas, esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar a situação ambiental em que se encontra esse segmento da bacia. Dentre os objetivos específicos, analisar parâmetros físico-químicos de qualidade da água, como temperatura, pH, turbidez, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, cor aparente, sólidos totais dissolvidos e composição química para os seguintes elementos: Cu, Cd, Ni, Pb, Zn, Fe e Mn. Tem também como objetivo específico analisar a concentração, distribuição e a provável origem desses metais nas águas superficiais, visando associar o possível risco ambiental para a saúde humana da população. O segmento do rio delimitado para estudo possui extensão de aproximadamente 9 km, referenciado pelas coordenadas geográficas -17°54'21"48 S e - 43°30'01"57 W. As análises realizadas neste trabalho estabeleceram que as concentrações dos elementos Cu, Fe, Mn e Zn encontradas estão muito acima do permitido pelo CONAMA 357/05, o que pode apresentar um risco direto à saúde dos garimpeiros, e indireto para a população localizada à jusante do rio, bem como para o equilíbrio dos recursos naturais. Os valores dos parâmetros físico-químicos cor, turbidez, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido estão bem acima do preconizado pelo CONAMA 357/05, e pode ocasionar prejuízos para os organismos aquáticos e para flora local, e na maior disponibilidade dos elementos químicos identificados. Dentre as amostras coletadas, os pontos que apresentaram os maiores valores dos elementos químicos e parâmetros físico-químicos foram aqueles que estavam localizados nas bacias de retenção. Estes dados indicam que os rejeitos provenientes do processo de garimpagem contribuem significativamente para a contaminação da área. Estes resultados alertam para o comprometimento da qualidade da água do Rio Jequitinhonha, indicando que a atividade garimpeira na área de estudo exerce um risco potencial para o equilíbrio dos sistemas naturais, bem como para a saúde dos seres humanos. Dessa forma, recomenda-se que os recursos hídricos, as áreas no entorno do garimpo e as condições de uso da bacia de rejeitos sejam monitoradas periodicamente pelos órgãos oficiais, e que seja ainda realizado um plano de recuperação de áreas degradadas, uma vez que, a retirada da vegetação para abertura de catas e o revolvimento do solo comprometeram toda a dinâmica ambiental.

Palavras Chave: Água superficial. Contaminação. Garimpo. Metais pesados. Rio Jequitinhonha. Saúde ambiental.

ABSTRACT

The mining project called Areinha is part of the Jequitinhonha River basin, which extends from the northeastern portion of the State of Minas Gerais to the south of the State of Bahia (river mouth), whose waters drain urban areas, latifundia, minifundios and mining areas, which directly affect the environmental characteristics of the water resource. The modification of mining activities, previously manual and currently predominantly mechanized, intensified the negative environmental impacts in this region, as a result of the need to remove large amounts of sediment from the river bottom for the extraction of diamond. Taking into account the natural peculiarities and the anthropic characteristics, this research has as general objective to evaluate the environmental situation in which this segment of the basin is located. Among the specific objectives, to analyze physical and chemical parameters of water quality, such as temperature, pH, turbidity, electrical conductivity, dissolved oxygen, apparent color, total dissolved solids and chemical composition for the following elements: Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn. It also has as a specific objective to analyze the concentration, distribution and probable origin of these metals in surface waters, aiming to associate the possible environmental risk to the human health of the population. The segment of the river delimited for study has an extension of approximately 9 km, referenced by the geographical coordinates -17°54'21"48 S E; -43°30'01"57 W. The analyzes carried out in this work established that the concentrations of Cu, Fe, Mn and Zn elements found are much higher than allowed by CONAMA 357/05, which may present a direct risk to the health of the *garimpeiros*, and indirect to the population located downstream of the river, as well as for the balance of natural resources. The values of the physical-chemical parameters color, turbidity, electrical conductivity and dissolved oxygen are well above that recommended by CONAMA 357/05, and can cause damages to aquatic organisms and to local flora, and to the greater availability of the identified chemical elements. Among the collected samples, the points that presented the highest values of the chemical elements and physical-chemical parameters were those that were located in the retention basins. These data represent that the wastes from the mining process contribute significantly to the contamination of the area. These results point to the impairment of water quality of the Jequitinhonha River, indicating that the garimpeira activity in the study area poses a potential risk to the balance of natural systems, as well as to human health. Therefore, it is recommended that the water resources, the areas around the garimpo and the conditions of use of the tailings basin be monitored periodically by the official agencies, and that a recovery plan for degraded areas is also carried out, since, the withdrawal of vegetation to the opening of tastings and the revolving of the soil compromised the whole environmental dynamics.

Keywords: Contamination. Environmental health. Garimpo. Heavy metals. Jequitinhonha river. Surface water.

RESUMEN

Se ha insertado el garimpo denominado Areinha en la cuenca hidrográfica del Río Jequitinhonha, cuenca que se extiende desde la porción noreste del Estado de Minas Gerais hasta el sur del Estado de Bahía (foz), cuyas aguas drenan áreas urbanas, latifundios, minifundios y áreas de garimpos que afectan directamente las características ambientales del recurso hídrico. La modificación en las actividades de garimpo, anteriormente manuales y actualmente predominantemente mecanizadas, intensificó los impactos ambientales negativos en esa región, consecuencia de la necesidad de remoción de grandes cantidades de sedimentos del fondo del río para la extracción del diamante. En vista de las particularidades naturales y las características antrópicas, esta investigación tiene como objetivo general evaluar la situación ambiental en que se encuentra ese segmento de la cuenca. En los objetivos específicos, analizar parámetros físico-químicos de calidad del agua, como temperatura, pH, turbidez, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, color aparente, sólidos totales disueltos y composición química para los siguientes elementos: Cu, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn. También tiene como objetivo específico analizar la concentración, distribución y el probable origen de estos metales en las aguas superficiales, con el fin de asociar el posible riesgo ambiental para la salud humana de la población. El segmento del río delimitado para estudio tiene una extensión de aproximadamente 9 km, referenciado por las coordenadas geográficas -17°54'21"48 S e -43°30'01"57 W. Los análisis realizados en este trabajo establecieron que las concentraciones de los elementos Cu, Fe, Mn y Zn encontradas están muy por encima de lo permitido por el CONAMA 357/05, lo que puede presentar un riesgo directo a la salud de los garimpeiros, e indirecto para la población localizada aguas abajo del río, así como para el equilibrio de los recursos naturales. Los valores de los parámetros físico-químicos color, turbidez, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto están muy por encima del preconizado por el CONAMA 357/05, y puede ocasionar perjuicios para los organismos acuáticos y flora local, y en la mayor disponibilidad de los elementos químicos identificados. Entre las muestras recogidas, los puntos que presentaron los mayores valores de los elementos químicos y parámetros físico-químicos fueron aquellos que estaban ubicados en las cuencas de retención. Estos datos indican que los desechos provenientes del proceso de goteo contribuyen significativamente a la contaminación del área. Estos resultados alertan sobre el compromiso de la calidad del agua del Río Jequitinhonha, indicando que la actividad minera en el área de estudio ejerce un riesgo potencial para el equilibrio de los sistemas naturales, así como para la salud de los seres humanos. De esta forma, se recomienda que los recursos hídricos, las áreas en el entorno del garimpo y las condiciones de uso de la cuenca de rechazos, sean monitoreadas periódicamente por los órganos oficiales, y que se siga realizando un plan de recuperación de áreas degradadas, una vez que, la retirada de la vegetación para la apertura de catas y el revolvimiento del suelo comprometieron toda la dinámica ambiental.

Palabras clave: Agua superficial. Contaminación. Garimpo. Metales pesados. Río Jequitinhonha. Salud ambiental.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: (a) Aspectos vegetacionais - Vegetação remanescente. (b) Aspectos vegetacionais - Mata ciliar.	52
Figura 2 (a,b): Morfologia do canal fluvial do Rio Jequitinhonha	57
Figura 3 (a,b): Variação dos aspetos pedológicos.....	57
Figura 4: (a) Utilização de bombas dentro das cavas para o desmonte hidráulico do talude. (b) Desnível topográfico entre a superfície e o fundo da cava.	58
Figura 5: (a) Bacia de retenção. (b) Lançamento dos rejeitos do garimpo diretamente no leito do rio.	58
Figura 6: Esquema geral das etapas metodológicas.....	60
Figura 7: Análise in situ dos parâmetros físico-químicos.....	67
Figura 8: Sonda multiparâmetro HI 9828.	67
Figura 9: Análise em laboratório do parâmetro turbidez.	68
Figura 10: Análise em laboratório do parâmetro cor.	68
Figura 11: Análise em laboratório dos parâmetros químicos	70
Gráfico 1: Valores médios de precipitação e temperatura do município de Diamantina no mês de março de 2016	53
Gráfico 2: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada de turbidez. Análise efetuada por Portable Turbidimeter Hanna HI 98703.....	72
Gráfico 3: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada da cor da água. Análise efetuada por fotocolorímetro Alafakit NCM/SH 90275020.	73
Gráfico 4: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada de pH. Análises efetuadas por sonda multiparâmetro HI 9828.	74
Gráfico 5: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada de temperatura. Análise efetuada por sonda multiparâmetro HI 9828.....	75
Gráfico 6: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada de oxigênio dissolvido. Análise efetuada por sonda multiparâmetro HI 9828.	77
Gráfico 7: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada de condutividade elétrica. Análise efetuada por sonda multiparâmetro HI 9828.	78
Gráfico 8: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada de sólidos totais dissolvidos. Análise efetuada por sonda multiparâmetro HI 9828.	80
Gráfico 9: Resultado químico, com apresentação detalhada para cobre. Análise efetuada pelo espectrofotômetro de absorção atômica em chama.....	82

Gráfico 10: Resultado químico, com apresentação detalhada para ferro. Análise efetuada pelo espectrofotômetro de absorção atômica em chama.	85
Gráfico 11: Resultado químico, com apresentação detalhada para manganês. Análise efetuada pelo espectrofotômetro de absorção atômica em chama.	88
Gráfico 12: Resultado químico, com apresentação detalhada para zinco. Análise efetuada pelo espectrofotômetro de absorção atômica em chama.	91
Mapa 1: Divisão de Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas de Minas Gerais- 2012.....	48
Mapa 2: Mapa geológico da região entre Couto de Magalhães de Minas e Senador Mourão, com detalhamento da estratigrafia do Grupo Macaúbas.	55
Mapa 3: Localização da área de estudo	61
Mapa 4: Localização dos pontos de amostragem	64
Mapa 4: Concentração do Cobre nos pontos de amostragem.....	84
Mapa 5: Concentração de Ferro nos pontos de amostragem.	87
Mapa 6: Concentração de Manganês nos pontos de amostragem.	90
Mapa 7: Concentração de Zinco nos pontos de amostragem.	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos pontos de amostragem.....	65
Tabela 2: Relação dos valores de todos os parâmetros físico-químicos analisados com os pontos de amostragem e com os valores referência do CONAMA 357/05 e Baggio (2008)..	81
Tabela 3: Relação dos valores de todos os parâmetros químicos analisados com os pontos de amostragem e com os valores referência do CONAMA 357/05.	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS	Atomic Absorption Spectrometry
ANA	Agência Nacional de Águas
ANPPS	Agenda Nacional de Prioridades de Pesquisa em Saúde
Cd	Cádmio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COOPERGADI	Cooperativa Regional de Garimpeiros de Diamantina
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Cu	Cobre
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FAAS	Flame Atomic Absorption Spectrometry
Fe	Ferro
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FUNASA	Fundação Nacional da Saúde
g/L	Grama por litro
GPS	Global Positioning System
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IGTEC	Instituto de Geoinformação e Tecnologia
LCD	Liquid Crystal Display
LGA	Laboratório de Geoquímica Ambiental
LIPEMVALE	Laboratório Integrado de Pesquisa Multiusuário dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
mg/L	Miligrama por litro
Mn	Manganês
Ni	Níquel
Nm	Nanômetro
MRN	Mineração Rio Novo
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
Pb	Chumbo
PCA	Plano de Controle Ambiental
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNQA	Plano Nacional de Avaliação da Qualidade da Água
PLC	Power Line Communication
ppm	Partes por milhão
PRAD	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
SaSA	Saúde, Sociedade e Ambiente

SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
TIS	Sistema de Identificação de Tag
UPGRH	Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos
UFVJM	Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
USB	Universal Serial Bus
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	25
2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>25</i>
2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>25</i>
3	REVISÃO DA LITERATURA	27
3.1	<i>Qualidade da água e metais pesados.....</i>	<i>27</i>
3.2	<i>Contaminação e riscos à saúde humana.....</i>	<i>34</i>
3.3	<i>Impactos em atividades minerárias.....</i>	<i>39</i>
3.4	<i>Geografia da Saúde.....</i>	<i>42</i>
3.5	<i>Geoquímica Ambiental.....</i>	<i>44</i>
4	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	47
4.1	<i>Bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....</i>	<i>47</i>
4.2	<i>Localização</i>	<i>49</i>
4.3	<i>Histórico do garimpo na região de estudo</i>	<i>49</i>
4.4	<i>Aspectos fisiográficos.....</i>	<i>51</i>
4.4.1	<i>Aspectos vegetacionais</i>	<i>51</i>
4.4.2	<i>Aspectos climáticos.....</i>	<i>52</i>
4.4.3	<i>Características geológicas.....</i>	<i>53</i>
4.4.4	<i>Geomorfologia e Geomorfologia Fluvial</i>	<i>56</i>
4.4.5	<i>Aspectos pedológicos</i>	<i>57</i>
4.4.6	<i>Uso e ocupação da terra.....</i>	<i>58</i>
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
5.1	<i>Primeira etapa- Planejamento da pesquisa</i>	<i>60</i>
5.1.1	<i>Delimitação da área de estudo</i>	<i>61</i>
5.1.2	<i>Elaboração dos mapas.....</i>	<i>61</i>
5.2	<i>Segunda etapa- Trabalho de campo e coleta das amostras de água</i>	<i>62</i>
5.2.1	<i>Técnicas de coleta e conservação das amostras</i>	<i>66</i>
5.2.2	<i>Análise dos parâmetros físico-químicos</i>	<i>66</i>
5.3	<i>Terceira etapa- Geoquímica analítica da água</i>	<i>67</i>
5.3.1	<i>Análise dos parâmetros físico-químicos cor e turbidez.....</i>	<i>67</i>
5.3.2	<i>Análise dos parâmetros químicos</i>	<i>68</i>
5.3.3	<i>Processamento dos dados e análise estatística</i>	<i>70</i>

6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
7	CONSIDERAÇÕES.....	95
8	REFERÊNCIAS.....	97

APÊNDICE A: CARACTERÍSTICAS DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO ESPECÍFICAS PARA LEITURA DE CADA ELEMENTO QUÍMICO.	107
--	------------

1 INTRODUÇÃO

A interdisciplinaridade, sob uma perspectiva teórico-metodológica, surge na segunda metade do século XXI, como resposta a uma necessidade verificada principalmente nos campos das ciências humanas e da educação: a de superar a fragmentação e o caráter de especialização do conhecimento, causados pela epistemologia de cunho positivista (THIESEN, 2007). Com Descartes e Galileu, principalmente, as ciências foram se desmembrando em muitos ramos e a interdisciplinaridade procurou restabelecer, pelo menos, o diálogo entre elas, embora não resgatasse ainda a unidade e a totalidade. Com a interdisciplinaridade, então, busca-se a compreensão da relação entre o todo e as partes (THIESEN, 2007).

Nissani (1997) aponta que a interdisciplinaridade é a combinação de diferentes componentes de duas ou mais disciplinas ao propor que:

No discurso acadêmico, a interdisciplinaridade aplica-se a quatro áreas: conhecimento, pesquisa, educação e teoria. O conhecimento interdisciplinar envolve a familiaridade com componentes de duas ou mais disciplinas. A pesquisa interdisciplinar combina os componentes de duas ou mais disciplinas, na busca ou criação de novos conhecimentos, operações ou expressões artísticas. A educação interdisciplinar combina componentes de duas ou mais disciplinas num único programa de instrução. A teoria interdisciplinar faz do conhecimento, pesquisa ou educação interdisciplinar seu objeto principal de estudo. (p. 202)

A interdisciplinaridade permanece como exigência do mundo contemporâneo, ao contribuir com o processo de compreensão do movimento de abertura frente ao problema do conhecimento e das transformações contínuas da atualidade, e ao buscar principalmente nas instituições de ensino, o trabalho do professor, para que ambos — professor e aluno — percorram o caminho que idealizaram, e revejam-se no sentido de juntos construírem o traçado de novas atitudes, caminhos, pesquisas, saberes e projetos (FAZENDA, 2002).

A interdisciplinaridade é um requisito fundamental em estudos que envolvam vertentes ambientais e de saúde. Neste sentido, é importante o desenvolvimento de pesquisas que sejam capazes de articular as especificidades das relações entre o ambiente natural e os seres vivos, evidenciando a realidade dos estudos, orientados por critérios metodológicos interdisciplinares. Os resultados obtidos de forma interdisciplinar possibilitam a orientação do planejamento concreto de avaliações, planos, políticas ou providências, o que é essencial para a resolução de problemas contemporâneos e deficiências no campo de estudo das áreas de conhecimento quando relacionadas.

As pesquisas que envolvem os recursos hídricos, em situação crítica quanto à ameaça à qualidade e à quantidade, apresentam crescente demanda no mundo atual. Isto se deve em parte devido ao crescimento populacional e dos usos múltiplos nos diferentes setores de atividades humanas, associados ao abastecimento inadequado e uso ineficiente, degradação, poluição e contaminação, intensa exploração das reservas de águas subterrâneas, além dos problemas de falta acesso e saneamento básico.

Toda a problemática em torno da água no planeta fez com que houvesse também preocupação de órgãos e representantes mundiais para a organização de conferências, fóruns e reuniões para discussão, diagnóstico e tomada de ações acerca deste impasse, uma vez que a água tem influência direta sobre a saúde humana e o equilíbrio dos ecossistemas, qualidade de vida e desenvolvimento do ser humano.

A partir dos anos 70, a água passou a ser um dos assuntos mais relevantes da agenda internacional. A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, realizada em 1972 em Estocolmo, e em 1977 a Conferência de Mar del Plata, foram encontros globais dedicados à problemática da água, a partir das previsões das Nações Unidas. Os planos de ação adotados trataram de admitir a relação existente entre os projetos de desenvolvimento, os recursos hídricos e suas significativas repercussões físicas, químicas, biológicas, sanitárias e sócio-econômicas (VARGAS, 2000).

A década de 1980 foi declarada como a "Década Internacional do Fornecimento da Água Potável e do Saneamento" sob a concepção de que "todos os povos, quaisquer que sejam seu estágio de desenvolvimento e suas condições sociais e econômicas, têm direito ao acesso à água potável em quantidade e qualidade à altura de suas necessidades básicas" (Relatório da Conferência das Nações Unidas sobre a Água, 1977).

Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, segundo Vargas (2000, p. 181), trouxe o seguinte:

[...] reafirmou e consagrou conceitos de crucial interesse para os países em desenvolvimento, a saber: o desenvolvimento sustentável; o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, entre os países, no que diz respeito à proteção do meio ambiente; a soberania dos Estados sobre os recursos naturais existentes em seus territórios e a responsabilidade de que sua exploração não acarrete danos fora de sua jurisdição; e o princípio da precaução. Esses conceitos incorporados nos documentos adotados pela Conferência, encerram múltiplos sentidos e constituem pilares para a ação da comunidade internacional. A Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e a Agenda 21 são respectivamente um conjunto de preceitos para a conduta dos Estados e um plano de ação global para a cooperação na área ambiental.

Antes disso, a Carta de Ottawa, assinada no final da 1ª Conferência Internacional sobre Promoção da Saúde, promovida pela Organização Mundial da Saúde e pelo Ministério da Saúde do Canadá em 21 de novembro de 1986, direcionou as bases operacionais de promoção da saúde, ao estabelecer condições e requisitos básicos para a saúde: paz, educação, habitação, justiça social, ecossistema estável, equidade e recursos sustentáveis.

Este documento restabeleceu a importância da promoção à saúde e evidenciou a influência dos aspectos sociais sobre a saúde dos indivíduos e da população, caracterizando-se como o "processo de capacitação da comunidade para atuar na melhoria de sua qualidade de vida e saúde, incluindo uma maior participação no controle deste processo" (WHO, 1986).

Foram estruturados na carta também, âmbitos de ação para a promoção da saúde (elaboração e implementação de políticas públicas saudáveis, criação de ambientes favoráveis à saúde, reforço da ação comunitária; desenvolvimento de habilidades pessoais e reorientação do sistema de saúde), que, a partir de seus princípios, estabelecem relação com a saúde ambiental, ao favorecer o desenvolvimento de habilidades pessoais para impulsionar as pessoas a lutarem por melhores condições, ao propor para as comunidades serem atuantes nas questões que a impedem de ser saudáveis (BESERRA *et al.*, 2010).

A criação de ambientes favoráveis à saúde, que faz parte dos princípios da promoção à saúde, é uma ação de destaque ao propor que, ambiente saudável é um dos fatores que colaboram com o desenvolvimento humano com vistas à saúde, ao orientar que a proteção do meio ambiente e a conservação dos recursos naturais e o acompanhamento do impacto que as mudanças no meio ambiente produzem sobre a saúde, são necessários para a conquista de ambientes que facilitem e favoreçam a saúde (CZERESNIA; FREITAS, 2009).

A eficácia dessas propostas, por sua vez, devem ser articuladas com a elaboração de políticas públicas saudáveis, por meio de estratégias sustentáveis no município e de reorientação do serviço de saúde, sendo estes últimos resultados de ações individuais e coletivas, empoderadas de sua ação social (BESERRA *et al.*, 2010).

Nos últimos anos, percebe-se, nas esferas nacional e internacional, a procura por definições específicas de prioridades e políticas de pesquisa em saúde. Foi, assim, elaborada e implementada a Agenda Nacional de Prioridades de Pesquisa em Saúde (ANPPS), instrumento da Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação em Saúde do Brasil, que tem como pressuposto o respeito das necessidades nacionais e regionais de saúde e aumento da indução seletiva para a produção de conhecimentos e bens materiais e processuais nas áreas prioritárias para o desenvolvimento de políticas sociais (BRASIL, 2011).

A agenda é composta de 24 sub-agendas, que correspondem às áreas prioritárias de pesquisa, envolvendo vários campos disciplinares e linhas de pesquisa. O estudo em questão está em conformidade com os princípios da 23ª sub-agenda ‘Saúde, ambiente, trabalho e biossegurança, e está inserido no tema prioritário de pesquisa 23.1 ‘Impactos das transformações ambientais sobre a saúde’ e no tópico 23.1.5 ‘Relação entre os fatores ambientais de risco: desmatamento, mineração, garimpagem, amianto, regiões de monoculturas, áreas sem saneamento básico, regiões com presença de animais silvestres, dentre outros e a ocorrência de endemias e epidemias’.

O Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Saúde, Sociedade e Ambiente (SaSA) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, está em consonância com as premissas e a importância das pesquisas interdisciplinares ao propor:

[...] a qualificação de profissionais no nível de mestrado profissional em Saúde, Sociedade & Ambiente, com área de concentração interdisciplinar. [...] tem como meta a capacitação de pesquisadores, gestores e pessoal nos serviços, de forma interdisciplinar, multiprofissional e interinstitucional, voltada para a busca de soluções aplicadas aos serviços de saúde e a sua interface com a sociedade e o ambiente. (UFVJM, 2012)

A linha de pesquisa ‘Tecnologia e Vigilância em Saúde’, campo específico de conhecimento inserida no programa tem como objetivo o desenvolvimento de estudos e tecnologias com utilização de sistemas de informação e geoprocessamento, geografia da saúde; desenvolvimento de indicadores e ferramentas de previsão e antecipação de agravos à saúde; monitoramento de situações e áreas de riscos associados¹.

A linha de pesquisa delimita a área de investigação desse trabalho, e traz orientação teórica e procedimentos metodológicos de forma interdisciplinar, em consonância com o desenvolvimento da presente pesquisa, que propõe o uso da tecnologia como instrumento de mapeamento, tabulação e análise de dados, ao espacializar a ocorrência e distribuição de fontes de contaminação em um rio da região sudeste brasileira, sob impacto de atividade minerária e garimpeira, e associar os achados com o risco potencial para a saúde da população.

¹ Site do Programa de Pós Graduação Interdisciplinar em Saúde, Sociedade e Ambiente. Disponível em: <<http://site.ufvjm.edu.br/ppgsasa2/o-curso/linhas-de-pesquisa-2/>>. Acesso em 15 fev. 2017.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a situação ambiental em que se encontra um segmento da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha em sua porção alta, caracterizando a qualidade da água superficial sob impacto de atividade garimpeira em associação ao risco para a saúde humana.

2.2 Objetivos específicos

1. Mensurar os parâmetros físico-químicos de qualidade da água, como temperatura, pH, turbidez, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, cor aparente e sólidos totais dissolvidos.
2. Analisar os parâmetros químicos da água para os seguintes metais: Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, determinando a concentração, distribuição e a provável origem natural ou antropogênica desses metais.
3. Comparar os resultados encontrados para cada um dos parâmetros com a legislação ambiental vigente, para verificação da concentração quanto ao limite preconizado pelas resoluções e quanto a influência na saúde da população.
4. Espacializar, por meio de mapas, a ocorrência e a distribuição da toxicidade dos elementos químicos identificados.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Qualidade da água e metais pesados

O ritmo acelerado pela busca do desenvolvimento econômico e crescimento das atividades produtivas acarreta o processo de degradação dos recursos hídricos. É fundamental que esses recursos sejam avaliados e protegidos de acordo com as demandas hídricas para o estabelecimento das atividades humanas (BONUMÁ, 2006). Ribeiro (2010) sustenta que o uso dos corpos d'água em escala global de forma contínua e crescente, combinados com uma gestão ineficaz, têm frequentemente provocado a alteração dos recursos hídricos quanto a sua qualidade e disponibilidade.

Baggio (2008) reconhece que a água tem várias características peculiares, relativas à própria substância, que lhe concede o aspecto qualitativo decisivo para sua utilização. Apesar de haver usos da água que requerem maior qualidade, como o abastecimento humano, e outros que exijam menos, como a diluição de efluentes industriais, é fundamental que os recursos hídricos satisfaçam as diferentes condições de qualidade, visto que são destinados a usos múltiplos (RIBEIRO, 2010). Em contrapartida, Tundisi (2003) acrescenta que o grau de desenvolvimento pode ser identificado pela importância que a sociedade garante aos seus recursos hídricos.

A água de qualidade, considerada recurso essencial à vida, está se tornando cada vez mais escassa e pode colocar em ameaça todos os seres vivos, inclusive o ser humano. Conceitualmente o termo qualidade da água, segundo Bayo (1999), não pode ser usada de forma objetiva e universal, uma vez que depende da sua aplicabilidade, e deve referir a um momento e lugar específicos, devendo estar relacionada a uma quantidade de água específica. Para se estudar a qualidade da água em determinada área, deve-se levar em conta as características das amostras em sua totalidade, e ainda considerar todos os aspectos naturais ou antrópicos que interferem nas características dos recursos hídricos.

De acordo com Tucci (2001):

A qualidade das águas depende das condições geológicas e geomorfológicas e da cobertura vegetal da bacia de drenagem, do comportamento dos ecossistemas terrestres e de águas doces e das ações do homem. As ações do homem que mais podem influenciar a qualidade da água são: (a) lançamento de cargas nos sistemas hídricos; (b) alteração do uso do solo rural e urbano; (c) modificações no sistema fluvial. (p. 47)

Os fatores naturais e de uso e ocupação de uma bacia hidrográfica são diretamente responsáveis pela qualidade das águas. Constantemente, a concepção de qualidade está associada apenas às características organolépticas, como cor, sabor e odor. Entretanto, esses aspectos estão relacionados apenas à sensibilidade humana e, por isso, não demonstram a real situação de alteração da qualidade das águas (RIBEIRO, 2010). A mesma autora estabelece que os parâmetros físico-químicos, químicos e biológicos são referências de avaliação da qualidade da água e oferecem dados acerca das condições de uso das águas, índices de contaminação e outras condições das características químicas, como a existência de metais pesados, por exemplo (RIBEIRO, 2010). Esses parâmetros indicam, portanto, as propriedades mantidas pelos elementos inseridos em um corpo d'água. (VON SPERLING, 2005 *apud* RIBEIRO, 2010).

Há no grupo dos parâmetros físico-químicos, inúmeras características que podem ser analisadas em termos de avaliação da qualidade da água. A investigação dos parâmetros descritos a seguir, foi realizada de acordo com o objetivo da pesquisa e pelas condições de uso e características do recurso d'água analisado. Turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais dissolvidos (STD), condutividade elétrica e potencial hidrogeniônico (pH) conferem dados essenciais sobre as condições ambientais dos corpos hídricos e contribuem na compreensão dos resultados da ocorrência de elementos químicos.

- Turbidez: Representa o grau de interferência para a passagem da luz através da água, conferindo-lhe uma aparência turva (RIBEIRO, 2010). Pode ser compreendida, segundo Hermes (2004), como o grau de clareza da água. Está diretamente definido pela presença e quantidade de material em suspensão (argila, silte, sílica), matéria orgânica e inorgânica, entre outros. O excesso deste parâmetro na água reduz a passagem da luz, propiciando a diminuição dos processos fotossintéticos dos organismos do fitoplâncton, vegetação e algas submersas, prejudicando assim, toda a cadeia trófica local (CERETTA, 2004). É considerado um dos parâmetros mais significativos das características físicas da água, e suas modificações são bem perceptíveis (RIBEIRO, 2010). Os maiores valores de turbidez ocorrem em períodos de maior pluviosidade, e em áreas que apresentam solo exposto, como agropecuária e mineração, bem como em regiões onde há lançamento de esgotos sanitários e diversos efluentes industriais.

- Cor: Está relacionada com o grau de redução de intensidade que a luz sofre ao penetrar no corpo d'água, por efeito da ocorrência de sólidos dissolvidos, orgânicos e inorgânicos e coloides, o que confere a coloração na água. Quando de origem natural, é resultado da decomposição de vegetais; quando de fonte antropogênica, a partir de efluentes

industriais ou esgotos domésticos (VON SPERLING, 1996 *apud* RIBEIRO, 2010). Esse parâmetro está diretamente correlacionado com a turbidez.

- Potencial hidrogeniônico: Representa a concentração de íons de hidrogênio, apontando situações de acidez, neutralidade e alcalinidade da água (0 a 7- ácido, 7- neutro e de 7 a 14- básico). O pH, segundo Ribeiro (2010), é “naturalmente associado à dissolução das rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese na forma de sólidos e gases dissolvidos”. A autora acrescenta que alterações dos valores contribuem para modificação do comportamento dos metais, onde altos índices “interferem no potencial de toxicidade, possibilitam a precipitação dos metais e participam de muitos processos industriais na remoção de metais dos efluentes, já os valores baixos funcionam na dissolução dos elementos, mantendo-se na forma iônica” (RIBEIRO, 2010). Assim, a acidez interfere diretamente nos processos físico-químicos, químicos e biológicos que acontecem na água.

- Temperatura: É uma característica ambiental importante nos estudos relacionados à qualidade das águas, e oferece apoio as condições biológicas, físicas e químicas da água. De acordo com Ribeiro (2010), “mede-se a intensidade do calor naturalmente originado a partir dos processos da radiação, condução e convecção na atmosfera terrestre e solo”. O aumento da temperatura propicia o aumento da velocidade das reações, ao diminuir a solubilidade dos gases dissolvidos na água, como o oxigênio, necessário para a decomposição aeróbica (BAGGIO, 2008).

- Oxigênio dissolvido: Sua ocorrência natural é a partir da dissolução do oxigênio atmosférico, produzido por organismos fotossintéticos e sua solubilidade varia de acordo com a temperatura e altitude (VON SPERLING, 2007). Segundo Ribeiro (2010), a “redução da concentração de OD pode ocorrer devido à presença de uma maior quantidade de bactérias aeróbicas, condições sob as quais podem morrer diversos seres aquáticos, inclusive peixes” e acrescenta que “em um primeiro momento, o OD indica a saúde dos corpos hídricos em relação à vida aquática”. No entanto, altos teores de OD nem sempre estão relacionados ao bom padrão de qualidade da água, uma vez que em “ambientes contaminados por metais pesados, a morte dos organismos e a consequente diminuição da demanda pelo oxigênio levam a um aumento do OD associado à contaminação” (FELLENBERG 1980, *apud* RIBEIRO, 2010).

-Condutividade elétrica: É condicionada pela ocorrência de substâncias dissolvidas que se dividem em cátions e ânions e determina a capacidade que a água tem em transmitir corrente elétrica (BAGGIO, 2008). Esteves (1998) afirma que “vários fatores podem influenciar na composição iônica dos corpos d’água, como a geologia da área de

drenagem dos efluentes, geologia da bacia de acumulação do lago e regime das chuvas”. A condutividade elétrica está associada com os valores de temperatura, com aumento de 2% a cada °C, e com os valores de pH, sendo os íons de hidrogênio os maiores responsáveis pelos valores de condutividade (RIBEIRO, 2010): “as águas muito puras são resistentes à corrente elétrica com menores valores de condutividade elétrica, e esse é um importante parâmetro na identificação de fontes poluidoras”. A condutividade fornece informações sobre alterações da composição da água, ao indicar, por exemplo, ações corrosivas da água, a partir de seus altos valores (CETESB, 2007).

- Sólidos totais dissolvidos: Sua ocorrência está relacionada com o grupo de diferentes contaminantes da água, que contribuem para sua carga total, sendo subdivididos em orgânicos e inorgânicos e voláteis e não voláteis (RIBEIRO, 2010). Os STD na água são classificados de acordo com as características físicas, e configuram uma parte dos sólidos, que segundo Von Sperling (2005) *apud* Ribeiro (2010), são definidos “quanto ao tamanho e podem ser classificados de acordo com as propriedades da filtração, na qual dissolvidos são os sólidos filtráveis de tamanho entre 10^{-6} e 10^{-3} e em suspensão os não filtráveis entre 10^0 e 10^3 , entre esses dois tamanhos estão as partículas coloidais”.

Os processos naturais e as práticas humanas podem modificar as características físicas, químicas e biológicas dos recursos hídricos, com consequências distintas para a saúde do ser humano e do ecossistema. A qualidade da água pode ser comprometida devido a mudanças nas taxas de temperatura, pH, nutrientes, metais pesados, sedimentos, toxinas não metálicas, componentes orgânicos persistentes e agrotóxicos, fatores biológicos, dentre outros (CARR; NEARY, 2008).

Alguns dos poluentes citados acima, como os agrotóxicos e as substâncias orgânicas e inorgânicas, que constantemente são utilizados em todo o mundo, permanecem no ambiente e sob diversas condições podem ser transportados por extensas distâncias até áreas nas quais nunca foram produzidos (PNUMA, 2009).

Segundo Ribeiro *et al.* (2012), as pesquisas sobre contaminação por metais pesados vêm ganhando maior relevância dentre o grupo de contaminantes inorgânicos, dado toxicidade desses compostos. Este grupo pertence aos elementos químicos com densidade específica e características de toxicidade próprias, que podem ocasionar consequências deletérias sobre os organismos vivos (DUFFOS, 2001).

Novotny (1995) assegura que 59 elementos químicos podem ser agrupados como metais pesados e são potencialmente tóxicos. Entretanto, o mesmo autor sugere que haja uma distinção entre os metais, a partir de sua toxicidade. Define que 17 dos 59 elementos são

classificados como muito tóxicos (Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Sb, Se, Sn, Te, Tl e Zn,) e são encontrados em regiões específicas com concentrações em nível de toxicidade. Dentre os 17 metais muito tóxicos, 10 deles (Ag, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn e Zn) são mobilizados pelo ser humano, em níveis que extrapolam os valores encontrados naturalmente no ambiente. Malavolta (1994) observa que a classificação de metais pesados inclui os metais, semimetais e até mesmo metaloides. Esteves (1998) acrescenta que:

São elementos químicos que ocorrem na natureza, de um modo geral, em pequenas concentrações, da ordem de partes por bilhão (ppb) a partes por milhão (ppm). Outras denominações para este grupo de elementos são frequentemente encontradas na literatura: 'metais pesados', 'metais traços', 'micronutrientes', etc.

Devido à variedade de termos em que são denominados, optou-se nesse trabalho, por empregar o termo metal pesado, em razão da sua maior aplicabilidade na literatura ambiental ao relacioná-los com as situações que envolvam casos de contaminação e toxidade.

Rodriguez (1998) afirma que os elementos químicos são naturalmente introduzidos aos recursos hídricos a partir de processos geoquímicos. Entretanto, têm sido frequentemente constatadas consideráveis modificações ambientais oriundos da urbanização e industrialização, principalmente.

Os metais pesados fazem parte de alguns elementos que nos organismos vivos são encontrados em pequenas quantidades (conhecidos como micronutrientes essenciais), mas que se tornam tóxicos com o aumento das concentrações, ao passo que alguns elementos são considerados naturalmente tóxicos (RIBEIRO, 2010). Esses elementos denominados micronutrientes, como o Fe, Cu, Mg e Zn, são essenciais para o ser humano em baixas concentrações (MORAES; JORDÃO, 2002).

O ambiente aquático propicia a entrada dos metais por meio de duas formas: natural e antropogênica. Rietzler *et al.* (2001) complementam que as fontes naturais são as rochas, os solos e as atividades vulcânicas, transportados por processos de lixiviação, erosão e escoamento pluvial. As fontes antropogênicas estão vinculadas aos diversos tipos de uso e ocupação do solo, sendo os setores industrial e de mineração, o deflúvio urbano e a agricultura, as principais formas de interferências.

Os elementos químicos tem sido conteúdo de estudo de muitas pesquisas em razão da sua frequente presença nos ambientes naturais, como águas superficiais, solos e sedimentos, e pela relação de seus efeitos sobre a saúde dos organismos vivos, tendo em vista seu potencial de contaminação. São elementos encontrados em diversas formas e lugares do ambiente terrestre e em parte dos ciclos biogeoquímicos. Os elementos ocorrem naturalmente

e em quantidades variáveis e decrescentes na constituição das rochas, metamórficas, ígneas e sedimentares, que se manifestam como fonte primária destes metais para o ambiente (BAGGIO, 2008).

Os metais pesados se distinguem das outras substâncias tóxicas por serem não degradáveis, sendo capazes então de concentrar em partes do ambiente, onde manifestam sua toxicidade (BAIRD, 2002). Este, segundo Ribeiro (2010), é considerado o principal problema dos metais pesados no ambiente já que estão associados ao processo de biocumulação (capacidade de concentração na cadeia trófica) e afeta suas concentrações mais altas, onde se localizam os homens.

O ciclo bioquímico é influenciado pelas atividades humanas, que interferem este ciclo por meio da alteração da forma e intensidade do transporte, bem como no meio em que o metal é depositado. A intervenção humana é considerada o principal agente responsável pela grande quantidade e frequência da distribuição dos metais, a sua utilização como subproduto em vários setores das atividades industriais, por exemplo, propicia diferentes impactos negativos de escala global ao local, ocasionando modificações graduais sobre a natureza, e efeitos na saúde dos ecossistemas e do homem (BAGGIO, 2008).

As alterações que os elementos químicos podem promover nos diferentes tipos de compartimentos naturais podem ser divididas em duas categorias: efeito do ambiente sobre o metal e efeito do metal sobre o ambiente (CABALEIRO, 2010). Esta autora discute que a primeira categoria apresenta condições nas quais os corpos hídricos receptores podem intervir no comportamento e toxicidade dos metais, já os efeitos do metal na resposta biológica são característicos da segunda categoria (CABALEIRO, 2010). A partir das condições dos sistemas ambientais, o metal é capaz de influenciar na diversidade, densidade, estrutura da comunidade e composição das espécies de populações que compõem o ecossistema aquático, e o nível de variação dependerá da concentração desses elementos químicos na água e no sedimento (CABALEIRO, 2010).

Dornfeld (2002) explica que existem diferenças de efeito dos elementos químicos no ambiente por processos naturais ou antropogênicos que consiste na relevância do impacto, duração (horas, meses, anos) e frequência (ocasional, contínua ou intermitente) em que ocorre a disponibilidade e potencial de contaminação pelos metais, determinando impactos significativos na estrutura e funcionamento dos ecossistemas.

A contaminação por metais pesados, segundo Baggio (2008), ocorre por fontes pontuais (esgotos domésticos, efluentes industriais, depósitos de lixo e rejeitos da mineração) e difusas (lixiviação do solo, atmosfera, deposições sólidas). Essas distinções entre as fontes

apontam a participação de cada uma delas no processo de contaminação dos ambientes (níveis de assimilação) e nos trabalhos de remediação (controle das fontes). Entretanto, tanto as fontes pontuais quanto as difusas procedem de forma similar, devido à persistência dos elementos nos sistemas.

Segundo Mozeto (2001), a ocorrência dos metais pesados em recursos hídricos e nos sedimentos tem influência no processo de alteração ambiental contínua, mesmo em situações em que a lâmina d'água não apresente valores de ocorrência dos elementos acima do preconizado pela legislação ambiental de qualidade da água. Os contaminantes ainda podem ocasionar impactos negativos à qualidade da água e aos organismos vivos, mesmo após a suspensão da descarga de efluentes nos corpos d'água.

Apesar de ser um meio de transporte para os metais, o ambiente aquático apresenta importância para a avaliação ambiental de uma bacia. Os elementos químicos são distribuídos de diferentes maneiras nas águas, sendo encontrados na forma iônica, material particulado em suspensão (MPS) e complexada (orgânica), são redistribuídos entre essas fases durante o transporte e alteram-se conforme cada elemento e sua carga total no ambiente (RIBEIRO, 2010).

O material particulado em suspensão (MPS) e o sedimento de fundo têm significância na análise da distribuição dos elementos químicos, já que parte dos elementos transportados na água está relacionada a essas partículas. O MPS é composto de materiais inorgânicos e orgânicos provenientes dos processos naturais e das atividades humanas (TOMAZELLI, 2003).

Segundo Oliveira (2007), a possibilidade de transporte ou não de um metal no ambiente aquático é uma das características mais importantes a serem observadas neste sistema, uma vez que se não há ocorrência do transporte, o elemento pode ser precipitado, tornando-se insolúvel em específicas condições físico-químicas e, assim, sem risco momentâneo para esse ecossistema. Os parâmetros físico-químicos, como sólidos em suspensão, pH, teor de matéria orgânica dissolvida, oxigênio dissolvido, alcalinidade e temperatura, são as condições que indicam a solubilização ou não do metal (OLIVEIRA, 2007).

Os óxidos e hidróxidos de alumínio, ferro, manganês e magnésio são elementos denominados “suporte”, pois interferem nos níveis dos metais em solução e nos processos de disponibilidade e de remoção. Participam do carreamento dos metais entre as formas dissolvida e particulada e dos processos de co-precipitação e adsorção (DORNFELD, 2002; ANJOS, 2003; TOMAZELLI, 2003).

Nos sedimentos, o processo de adsorção propicia maior quantidade de partículas para este sistema do que a fração dissolvida na água. A função dos sedimentos primeiramente é diminuir a quantidade de íons metálicos na água, mas, sob condições de saturação ou em níveis de acidez elevado, esse compartimento pode voltar a liberar mais metais para a água, constituindo assim em uma fonte de contaminação. Em termos de toxicidade e poluição, é necessário verificar a forma que o contaminante se apresenta na lâmina d'água, já que isto pode influenciar o processo de bioacumulação e biomagnificação (RIBEIRO, 2010).

Segundo Licht (2001), as composições químicas da água é uma importante fonte de pesquisa, pois associada a informações socioeconômicas e de saúde pública, podem explicar as relações de causa e efeito que acontecem no sistema ambiental.

A utilização dos recursos hídricos, por meio das atividades humanas, é responsável por grande parte da alteração da qualidade das águas que conseqüentemente refletem na transformação dos ambientes naturais e no cotidiano do ser humano. Os estudos sobre os metais pesados são de importância fundamental em pesquisas de qualidade da água, devido a possibilidade de diálogo com outras áreas do conhecimento, levando-se em conta as especificidades da área de estudo e objetivos da pesquisa.

3.2 Contaminação e riscos à saúde humana

A saúde humana, por meio do sistema imunológico e o ambiente, nos ecossistemas, apresentam condições diferentes sob efeito de substâncias químicas aos quais podem estar expostas cotidianamente (ARAÚJO, 2006). Desde muito tempo, têm sido pesquisadas as relações que há entre a saúde e o ambiente a partir de várias situações de análise (BARCELLOS *et al.*, 1998).

A intoxicação do ser humano por metais pesados é muitas vezes consequência da alteração da qualidade do ambiente que foi afetada diretamente pela contaminação do solo e dos recursos hídricos por estes metais. Os elementos químicos vêm sendo considerados mundialmente como prioritário nos programas de promoção da saúde (RODRIGUES, 2015).

A relação de toxicidade dos metais está intimamente associada ao tempo de exposição, à dose, à absorção, às vias de administração, à forma física e química dos elementos (CORRÊA, 2014). No ambiente, a toxicidade desses metais é determinada pela sua quantidade, e mesmo ocorrendo em pequenas proporções, podem ocasionar problemas nos organismos aquáticos, já que na maioria das vezes esses lugares têm pouca água para diluir e mobilizar os contaminantes (GANDRA, 2012).

Além dos grupos expostos ocupacionalmente e daqueles residentes em áreas reconhecidamente contaminadas, o consumo de alimentos contaminados é o meio mais frequente de assimilação dos metais tóxicos pelo organismo (OMS, 1998).

As implicações provocadas pela exposição do ser humano aos metais pesados estão na maioria das vezes relacionados com a exposição ocupacional do que com os índices gerais de metais no ambiente. Jeffery (2001) explica que essa relação pode ser empregada tanto aos trabalhadores do campo industrial, agrícola ou de mineração, quanto para os indivíduos que utilizam essas substâncias diretamente em suas ocupações.

A exposição do ser humano aos metais acontece por meio da ingestão, inalação, e absorção através da pele. A ingestão de elementos químicos ocorre comumente com a água e os alimentos; e a inalação pode influenciar no aumento da predisposição às infecções das vias respiratórias, favorecer o aparecimento de carcinomas pulmonares e reduzir a defesa imunológica (SANCHES, 2012).

Há muito tempo, as doenças foram relacionadas às condições geográficas, como relevo, clima e aos danos ambientais: poluição e doenças ocupacionais: áreas de mineração e garimpo, além de provocarem problemas ambientais, são consideradas atividades de riscos à saúde do trabalhador (NASCIMENTO, 2009). Em áreas de garimpo onde há extração de ouro, por exemplo, as implicações na saúde dos trabalhadores variam desde a surdez a lesões traumáticas, intoxicações por mercúrio, dermatoses, queimaduras e intoxicação por gases. Por outro lado, estudos realizados sobre a avaliação do meio ambiente, confirmam que o estado de concentração de metais na biota aquática e na água pode interferir na quantidade que estes elementos são transferidos para a população humana por meio do consumo de peixes ou da água do rio (LARSON; WEINCK, 1994 *apud* LIMA, 2013).

No organismo humano, os metais presentes na água são absorvidos através do trato gastrointestinal. A absorção, segundo Freitas (2001), pode ser influenciada pelo pH, pelas taxas de movimentação no trato digestivo e pela presença de outros materiais, sendo que as associações entre esses fatores podem contribuir para que a absorção dos metais seja muito alta ou muito baixa no ser humano. Os efeitos tóxicos dos metais manifestam-se de forma aguda ou crônica. Goyer (1996) afirma que os mecanismos de toxicidade desses elementos são capazes de interagir com sistemas enzimáticos e com membranas celulares e de produzir efeitos específicos em certos órgãos e sobre o metabolismo celular em geral. Os efeitos danosos manifestarão quando a quantidade de metais ingeridos ou concentrados forem maiores que a capacidade de recuperação e absorção do corpo humano (ARAÚJO, 2006).

Oliveira (2007) explica que, logo após a ingestão e absorção de uma substância pelo organismo, essa passará pelas etapas de transporte e distribuição e poderá ser biotransformada, acumulada e/ou excretada. Em cada estágio, esta substância poderá apresentar-se em distintas formas químicas e físicas e poderá ter funções fisiológicas essenciais, bem como também participar de processos biológicos vitais, mesmo que, se presente em doses elevadas, possa causar efeitos tóxicos ao organismo (OLIVEIRA, 2007).

A exposição humana aos vários contaminantes que hoje são lançados ao meio ambiente pode provocar reações diversas nos organismos vivos e vários tipos de doença. A seguir, estão descritos as características dos metais investigados neste estudo, associados aos riscos que estes podem causar à saúde humana, quando encontrados acima dos padrões ambientais.

- Cádmio (Cd): Faz parte do grupo II B na tabela periódica e ocupa o 67º lugar em abundância na crosta terrestre. O estado de oxidação natural do cádmio é Cd^{2+} . Apresenta covalência moderada e alta afinidade pelos grupos sulfetos, o que leva a um aumento de sua solubilidade em lipídios, sua bioacumulação e toxicidade. Seus principais minerais fonte são a greenockita (CdS) e a otavita ($CdCO_3$) (CORRÊA, 2014). É também associado aos minerais de Zn e Pb e a rochas fosfáticas (BAGGIO, 2008). O Cd é liberado no ar, águas e solos por meio de atividades antropogênicas. Na água, sob a forma de complexos de íons e hidratos ou como substâncias húmicas. Seus efeitos nocivos no organismo humano podem causar disfunção renal, distúrbios imunológicos, enfisema pulmonar e osteoporose (LARSON; WEINCK, 1994 *apud* LIMA, 2013). No organismo humano, 70% do cádmio em circulação é encontrado nas células sanguíneas e cerca de 50% da carga corporal de cádmio se depositam nos rins, 20% nos músculos e 15% no fígado (OLIVEIRA, 2007). O efeito tóxico deste elemento está mais relacionado pela sua forma do que pela concentração (OMS, 1998 *apud* OLIVEIRA, 2007). O cádmio pode ser encontrado por duas diferentes fontes antropogênicas: a primeira refere-se às atividades que englobam produção, mineração e consumo e disposição de produtos que utilizam cádmio (baterias, pigmentos, estabilizadores de produtos de policloreto de vinila, ligas, componentes eletrônicos entre outros), e a segunda refere-se às fontes inadvertidas, onde o cádmio é componente do material que está sendo consumido ou processado (MORAES, 2011).

-Chumbo (Pb): Está presente na crosta terrestre e na maioria das rochas, ocupa a coluna IV A na tabela periódica. Quando extraído na maior parte do minério galena, apresenta-se como sulfeto de chumbo (PbS); ocorre na anglesita, como sulfato de chumbo ($PbSO_4$) e carbonato de chumbo ($PbCO_3$). Segundo Oliveira (2007), a mobilidade do chumbo

pode ser determinada pela complexação com a matéria orgânica e adsorção nos óxidos e minerais de argila, das condições do ambiente, como salinidade, temperatura e pH e do conteúdo de ácidos húmicos. A presença do chumbo nas águas superficiais apresenta-se na forma divalente Pb^{2+} , formando sais e se combina com ligantes orgânicos para formar complexos coloidais (KNIGHT; KADLEC, 2000 *apud* ANJOS, 2003). O chumbo tem baixa solubilidade e concentração em ambientes aquáticos e forma complexo estável com a matéria orgânica (MORAES, 2011). A sua toxicidade interfere na disponibilidade para os organismos, influenciada, muitas vezes, pela concentração iônica livre em ecossistemas aquáticos (MORAES, 2011). O processo de absorção do chumbo advindo de sistemas ambientais depende de seu estado físico e químico e da quantidade do elemento nas vias de introdução (OLIVEIRA, 2007). Dentre os efeitos no corpo humano, têm-se alterações neurológicas, distúrbios em enzimas, febre e náuseas (LARSON; WEINCK, 1994 *apud* LIMA, 2013). Cerca de 60% do chumbo absorvido são contidos pelo organismo e 40% são excretados sob condições regulares de exposição e baixas concentrações do chumbo (OLIVEIRA, 2007). O elemento tem como fonte as indústrias de ferro e aço nas operações de produção e processamento do metal (MORAES, 2011).

- Cobre (Cu): É um elemento de alta abundância na crosta terrestre, e ocupa o grupo I B da tabela periódica. Nos corpos d'água sua ocorrência se dá por meio de compostos de Cu^{+} , ocorrendo na forma de complexado insolúvel com hidróxidos e ligado a carbonatos e a compostos orgânicos, podendo apresentar relativa solubilidade (KNIGHT; KADLEC, 2000 *apud* ANJOS, 2003). Um dos minerais mais abundante é a calcopirita ($CuFeS_2$), sendo constantemente localizado também distribuído nas rochas e concentrado nos depósitos minerais de Cu (OLIVEIRA, 2007). É considerado um metal essencial ao corpo humano e sua carência pode causar problemas circulatórios, anemia e inibição do crescimento (SELINUS, 2004). Altas taxas de cobre no corpo pode motivar o aparecimento de anemia crônica, irritação intestinal, dor abdominal, dor de cabeça, vômitos, náuseas e diarreia, e também graves danos aos rins, cirrose hepática (SALEM; EWEIDA; FARAG, 2000; SHOKR *et al.*, 2016) e Doença de Wilson (LEMES, 2001; SELINUS, 2004). As fontes antropogênicas de cobre para o ambiente são a queima de carvão como fonte de energia, sua emissão pelas atividades de mineração e fundição e pelos incineradores de resíduos (MORAES, 2011).

- Ferro (Fe): É um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, pertence ao grupo VIII B e seus compostos são encontrados no solo e nos minerais na forma insolúvel e também em corpos d'água na forma solúvel, mesmo que em baixas concentrações. Sua geoquímica é muito complexa no ambiente e é definida pela variedade de seus estados de

oxidação. O comportamento do ferro está diretamente ligado ao ciclo do oxigênio, carbono e enxofre. É resultante da dissolução de compostos ferrosos de solos arenosos, terrenos de aluvião ou pântanos, em que, “a matéria orgânica se decompõe consumindo oxigênio e produzindo gás carbônico, o qual solubiliza compostos de ferro” (CORRÊA, 2014). É considerado essencial aos processos fisiológicos de todos os organismos. Nos seres humanos e nos animais, é encontrado nas hemoglobinas e em algumas enzimas, e sua deficiência está associada ao aparecimento da anemia. O excesso de ferro em águas potáveis pode acarretar proliferação de ferrobactérias, que causam vômito e prejudicam o fígado e os rins do ser humano (LEMES, 2001). No organismo, altas concentrações de ferro provoca hemocromatose (SELINUS, 2004), que significa o acúmulo de ferro em alguns órgãos como o fígado, o que compromete o funcionamento de suas células.

- Manganês (Mn): É um dos elementos mais encontrados na crosta terrestre e faz parte do grupo VII B. Como cátion metálico, é semelhante ao ferro em seu comportamento químico e é frequentemente encontrado em associação com o ferro. É considerado um micronutriente essencial aos seres vivos e é encontrado em quase todos os tipos de solos (LEMES, 2001). No ser humano, contribui para o funcionamento do sistema nervoso central, desenvolvimento ósseo normal e reprodução e, para flora, é fundamental para a produção de clorofila (LICHT, 2001). Sua deficiência está associada a anomalias esqueléticas e dificuldades reprodutivas e o excesso pode ocasionar o desenvolvimento de carcinomas e má formação congênita.

- Níquel (Ni): Este elemento é o 24º mais abundante da crosta terrestre, encontrado em diversos minerais, em meteoritos (formando liga metálica com o ferro) e, em princípio, no núcleo da Terra. É um elemento de transição situado no grupo X- VII B da tabela periódica. A quantidade deste metal que é absorvido pelo organismo é determinada pelas quantias que são inaladas ou ingeridas, e também pelas condições físico-químicas de seus compostos, sendo o tamanho e a solubilidade das partículas características importantes no processo de absorção (OLIVEIRA, 2007). Altas concentrações são absorvidas pelo ser humano, causam problemas de pele e pode até afetar nervos respiratórios e cardíacos (LIMA, 2006 *apud* OLIVEIRA, 2012). Oliveira (2007) explica que os estudos sobre a distribuição do níquel no organismo enfatizam que os compostos solúveis absorvidos não se concentram predominantemente em nenhum órgão, embora altas concentrações estejam localizadas no fígado, esqueleto, rim e glândula pituitária. As formas de contribuição antrópicas para o sistema aquático, segundo Azevedo; Chasin (2003) *apud* Moraes (2011), são os óleos

combustíveis e os resíduos de incineradores, que contribuem com mais de 70% do níquel e pela mineração e refino do metal.

- Zinco (Zn): É considerado o 25º elemento na ordem de ocorrência na crosta terrestre, aparece em vários minerais e faz parte do grupo II B. Piroxênios, anfibólios, biotitas, olivinas, granadas, estauroilitas, magnetitas e esfarelitas, são as principais fontes minerais de zinco (OLIVEIRA, 2007). Está presente nos recursos hídricos como íons divalentes Zn^{2+} , na forma de carbonatos, hidretos iônicos e complexado orgânico (ANJOS, 2003). A bioacumulação do elemento em sistemas aquáticos varia a partir dos níveis tróficos; sua adsorção depende do pH: aumenta com a elevação do pH de 5 para 7, e da temperatura, sendo maior em climas mais quentes (OLIVEIRA, 2007). Altas concentrações de zinco são introduzidas no ambiente como resultados de atividades antrópicas como a produção de aço, mineração, queima de carvão e lixo e purificação do zinco. Grandes quantidades do zinco no ser humano podem causar fadiga, tontura (HESS; SCHMID, 2002 *apud* SARWAR *et al.*, 2016), febre e diarreia (SELINUS, 2004), irritações na pele, além de estar associado ao câncer de pulmão em regiões onde há emissões industriais (MINEROPAR, 2001). O zinco pode ser absorvido no organismo pela via digestiva, por penetração pelos pulmões por via inalação de fumos e poeiras em operações de fundição e soldagem, e também pela pele em pequenas proporções (OLIVEIRA, 2007). Em média, 20 a 30% do elemento ingerido podem ser absorvidos no trato gastrointestinal e sua concentração eleva-se rapidamente no sangue e nos ossos após a exposição, no fígado recebe cerca de 40% da dose absorvida e nos músculos e ossos armazenam cerca de 90% do total de zinco no organismo (OLIVEIRA, 2007).

3.3 Impactos em atividades minerárias

As atividades minerárias produzem intensa alteração e transformação nos compartimentos dos recursos naturais, assim como de todos os elementos associados a este sistema. A resolução do CONAMA N°. 001 de 23 de janeiro de 1986 conceitua impacto ambiental como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, originadas por atividades humanas, que direta ou indiretamente afetam: (i) a saúde a segurança e o bem-estar da população; (ii), as atividades socioeconômicas; (iii) a biota; (iv) e a qualidade dos recursos ambientais.

O Brasil detém historicamente uma das maiores reservas minerais do mundo e desde o período colonial, sofre com os impactos de uma extração mineral considerada

desordenada e com restrito controle tecnológico, muitas vezes de forma clandestina, o que classifica esta atividade como potencialmente poluidora dos recursos hídricos (BONUMÁ, 2006).

Fonseca (2005) discute que todas as atividades econômicas que utilizem a natureza como fonte de recursos, assim como o garimpo, devem manter cuidados importantes em relação à proteção ambiental, visto que, como também afirma Bonumá (2006) o aproveitamento mineral pode provocar sérias modificações das características do ambiente natural por gerar grande quantidade de rejeitos, que acabam sendo carreados para os corpos hídricos, alterando suas propriedades qualitativas.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais- CPRM (2002) menciona que em áreas de mineração de maneira geral, existem cinco principais problemas provenientes desta atividade como a: poluição sonora, poluição do ar, poluição da água, subsidência do terreno, rejeitos radioativos e incêndios causados pelo carvão.

Os impactos ambientais em minerações estão relacionados com as diferentes etapas de exploração dos bens minerais que geram implicações em todo o processo a partir da abertura da cava, (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), do uso de explosivos no desmonte de rocha (sobrepessão atmosférica, vibração do terreno, ultralancamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído) e no transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando desta forma, os recursos naturais e a população local (BACCI; LANDIM; ESTON, 2006). Estes mesmos autores acrescentam que grande parte dos bens minerais é extraída por meio de técnicas tradicionais a céu aberto ou subterrâneo (BACCI; LANDIM; ESTON, 2006). Silva (2007) ainda complementa que os maiores indícios de comprometimento ao ambiente acontecem em lavras a céu aberto, já que gera maior quantidade de rejeitos, poeira em suspensão, vibrações e riscos de poluição das águas.

A poluição dos recursos hídricos em atividades de mineração é determinada segundo Menegol *et al.*, (2001) pelo “transporte de partículas de áreas decapeadas por água pluvial; deposição direta de estéril e lançamento de rejeitos em cursos de água; deposição de resíduos sólidos não inertes que podem contaminar o lençol freático; turbilhonamento dos aluviões na operação de dragagem; lançamento de esgotos sanitários e óleos das oficinas das instalações da mineradora”.

Ambientalmente, as áreas de garimpo são as que mais preocupam em termos de controle e preservação, já que na maioria das vezes não existe nenhum tipo de administração

tecnológica e a atividade não é praticada por instituições formais, mas sim por cooperativas ou associações.

Bonumá (2006) reforça que a lavra a céu aberto e semimecanizada influencia as modificações paisagísticas, que foram ocasionadas a partir da remoção de grandes compartimentos para abertura de catas e bacias de rejeito, o que proporciona o aumento do impacto visual, e o comprometimento das condições ambientais e de segurança e saúde do trabalhador.

Além da modificação da paisagem, outros danos também podem ser irreversíveis, como a liberação de substâncias tóxicas para os corpos d'água a partir das bacias de rejeitos e etapas de beneficiamento, perda e alteração de solos, alteração das águas subterrâneas, flora e fauna local, e até mesmo riscos sobre a saúde humana. Segundo Bonumá (2006), para impedir que aconteça em áreas de garimpo, a expansão do passivo ambiental por poluição ou abandono das áreas degradadas, por falta de responsabilidade legal, é necessário que sejam realizadas adequadas precauções.

A atividade garimpeira realizada por meio de operações de dragagem no leito do rio provocam intensas alterações no ambiente e, além desta intensa modificação, ocorrem também impactos indiretos, causados principalmente pelo deslocamento de populações aos locais de lavra, aglomerações humanas não planejadas, saneamento básico precário, difusão de doenças epidêmicas e diversos problemas sociais (SOUZA *et al*, 2008).

É fundamental o monitoramento e a fiscalização constante de todo o processo que envolve as atividades minerárias, como a qualidade das águas dos recursos hídricos, contenção de sólidos, separação e descartes de óleos e graxas, tratamento de efluentes sanitários, disposição do lixo doméstico, controle dos processos de erosão pluvial e fluvial, bem como no controle de circulação de partículas e gases na atmosfera (CAMPOS; FERNANDES, 2008 *apud* SILVEIRA; MENDONÇA, 2011).

Sendo assim, como conclui Nascimento (2009), é fundamental a discussão interdisciplinar no contexto das ciências geográficas e da saúde, por serem imprescindíveis nos estudos relativos ao ambiente, sociedade e saúde. A relação entre a atividade de mineração e o ambiente é uma referência nesta abordagem de estudo, uma vez que, a atividade não aborda somente os impactos no ambiente, mas também preocupa-se com os riscos à saúde e segurança de todas as pessoas envolvidas neste processo.

3.4 Geografia da Saúde

O estudo da relação entre a saúde e o ambiente, a partir de diferentes contextos obteve seu crescimento paralelamente ao próprio desenvolvimento da geografia. O emprego do espaço geográfico como objeto de análise tem contribuído atualmente em pesquisas nas áreas de Análise Ambiental, Epidemiologia e Geografia da Saúde (BARCELLOS; MACHADO, 1998).

A Geografia, ciência que analisa o espaço investiga a relação entre o ambiente e os aspectos naturais, sociais, econômicos e políticos. A ciência geográfica e a ciência da saúde se correlacionam quando as pesquisas em saúde coletiva procuram estabelecer interferências ou interações com o ambiente.

A Organização Mundial de Saúde e a Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS) estabelecem que existem diversos temas acerca desse campo do conhecimento a serem analisados, como a 'saúde ambiental' ou 'saúde e ambiente', e 'saúde do trabalhador'. Estes conteúdos acima,

incorporam todos os elementos e fatores que potencialmente afetam a saúde incluindo, entre outras, desde a exposição a fatores específicos como substâncias químicas, elementos biológicos ou situações que interferem no estado psíquico do indivíduo, até aqueles relacionados com aspectos negativos do desenvolvimento social e econômico dos países. (OPAS, 1990).

Augusto (2005) ainda acrescenta que “a saúde pode estar relacionada a um sistema complexo de situações e condicionantes que tornam as populações mais ou menos vulneráveis aos processos de produção do espaço que geram riscos ambientais”. O art. 3º da Lei Federal 8.080/90² apresenta a relação existente entre a saúde humana e o ambiente, ao propor aspectos que indicam os graus de saúde de uma sociedade:

A saúde tem como fatores determinantes e condicionantes, entre outros, a alimentação, a moradia, o saneamento básico, o meio ambiente, o trabalho, a renda, a educação, o transporte, o lazer e o acesso aos bens e serviços essenciais; os níveis de saúde da população expressam a organização social e econômica do país.

A partir do conhecimento integrado, por meio da adoção de medidas preventivas e de controle dos fatores de riscos provenientes de uma variável ambiental, torna-se viável a solução de um problema de saúde (FUNASA, 2002 *apud* NASCIMENTO, 2009). Diante disso, entre uma das práticas da Geografia da Saúde há a localização de anomalias nos

² Lei 8.080, de 19 de setembro de 1990. Publicada no Diário Oficial da União em 20/9/1990.

diferentes meios responsáveis pela propagação de doenças, como as fontes naturais, água, ar e solo, considerando-se as doenças de veiculação hídrica, uma das mais importantes neste processo. Santos (1997) afirma que as águas superficiais tem sua qualidade determinada a partir de seus componentes e acrescenta que os efeitos que seus elementos podem causar à saúde humana partem deste o consumo direto e ingestão de alimentos contaminados, até o contato físico e inalação.

Alievi; Pinesi (2010) em seus estudos concluíram que:

Conjuntamente aos estudos realizados no campo da saúde ambiental, onde se busca englobar os problemas resultantes dos efeitos que o ambiente exerce sobre o bem-estar físico e mental do homem, cabe à Geografia da Saúde estudar a dinâmica espacial e os consequentes agravos à saúde coletiva promovidos por doenças de veiculação hídrica, compreendendo esta dinâmica espacial em um contexto socioeconômico e cultural em que esta inserida a sociedade, por meio de aproximações necessárias entre os estudos produzidos pelos campos aqui destacados.

Vaz; Remoaldo (2011) constataram que a Geografia da Saúde ganhou maior credibilidade nos últimos anos, pelo fato de persistir no estudo da análise territorial e passar a dar destaque ao lugar, por introduzir a aplicação de instrumentos que propiciam a “leitura” de forma mais dinâmica do espaço por meio da utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG), e, sobretudo por considerar em suas pesquisas as relações e interferências socioculturais. Licht (2001) acrescenta que a utilização desta ferramenta de leitura do espaço possibilita ainda que haja a integração entre a composição química das águas superficiais ou subterrâneas ao aspecto socioeconômico e de saúde pública da população local, ao proporcionar a constatação das relações de causa e efeito dos processos naturais ou antrópicos.

Compete à Geografia da Saúde o estudo da espacialização das doenças, e no que concerne este trabalho, o entendimento da ocorrência e distribuição dos metais pesados no local de estudo e a interferência desta espacialização dos elementos químicos nas doenças de veiculação hídrica. Portanto, é fundamental a contribuição dos estudos de saúde ambiental aos estudos do campo da geografia da saúde como possibilidade de aprimorar e complementar as pesquisas dessas áreas do conhecimento ao considerar principalmente, a importância e responsabilidade dos fatores ambientais no surgimento e desenvolvimento de doenças no espaço geográfico (ALIEVI; PINESE, 2010).

3.5 Geoquímica Ambiental

A Geoquímica compreende um campo da Ciência Geológica, “[...] sendo uma disciplina que dividiu a realidade em compartimentos que vão desde o cosmo até os solos, passando pelas rochas” (ROHDE, 2004). Esses compartimentos estão associados ao ciclo geoquímico que segundo este mesmo autor, “[...] inclui uma fonte, um transporte e uma deposição (ou residência) de um elemento químico nos diversos compartimentos” (ROHDE, 2004). O ciclo geoquímico é dividido em dois ambientes geoquímicos, que segundo Rodhe (1966) *apud* Rodhe (2004) envolve,

o profundo, que compreende as partes inferiores das camadas da crosta continental, dos oceanos, do manto e do núcleo terrestre, estando associados aos processos magmáticos e metamórficos onde vão ocorrer cristalizações de minerais, bem como a formação e transformação de vários tipos de rochas. No ambiente superficial, especificamente acima da crosta superior e oceânica, ocorrem mais processos de transformação por erosão e sedimentação, onde também se encontram processos biológicos e antrópicos, sendo estes na atualidade considerados os agentes que mais estão transformando a superfície terrestre, existindo inclusive uma classificação geológica de tempo, denominada Quinário ou Tecnógeno.

A Geoquímica Ambiental surge neste contexto como um campo da Geoquímica que tem por finalidade investigar os elementos químicos de uma forma abrangente, envolvendo o estudo dos solos, sedimentos, água e seres vivos, o monitoramento dos corpos hídricos, a avaliação de áreas contaminadas e as consequências desses elementos sobre o ambiente e a saúde dos organismos vivos (MIRANDA, 2007).

Morais; Souza Filho (2000) afirmam que para uma análise de indicadores ambientais deve-se levar em consideração como esferas relevantes aqueles como o biótico, geofísico, cultural e socioeconômico “[...] sendo que esses três níveis distintos de existência – físico, biológico e social - se inter-relacionam e interagem” e acrescentam que “[...] o homem é o agente que vai alterar o ambiente natural, e todas as ações que realizar, sejam benéficas ou adversas, irão reverter em prol de sua própria saúde e bem-estar, medidos em termos de qualidade ambiental” (MORAIS; SOUZA FILHO, 2000).

Segundo Licht (2001) as respostas geoquímicas do ambiente são conduzidas primeiramente pelas fontes naturais existentes na Terra a partir de processos geológicos, pedológicos, climáticos e biológicos. A partir disso, a atuação do ser humano passa a ter função fundamental devido à facilidade de alteração do ambiente geoquímico por meio da introdução de maiores concentrações dos elementos químicos como resultado de suas atividades diárias nos setores industrial, urbano, agrícola e mineração.

Neste contexto, Maia (2004) acredita que os mapas geoquímicos são importantes recursos para constatação de áreas com altas concentrações de elementos químicos tóxicos, assim como também de áreas com carência de elementos essenciais, e podem ser eficazes em inúmeras investigações e pesquisas no campo da geoquímica ambiental como no da saúde. Assim, Licht (2001); Siegel (2002) *apud* Corrêa (2006) complementam que áreas com excesso de um dado elemento podem contribuir para a identificação de locais onde há o despejo de rejeitos residenciais e/ou industriais, resíduos de fertilizantes e pesticidas, dentre outros contaminantes, na delimitação de depósitos minerais (prospecção geoquímica), bem como nas pesquisas epidemiológicas.

Desde a década de 30, as investigações ambientais por meio dos recursos geoquímicos têm sido praticadas, quando pesquisadores da ex-URSS introduziram a prática de diagnósticos geoquímicos orientados para a identificação de jazidas minerais (LICHT 2001). O êxito deste novo método de acordo com Miranda (2007) devido a sua repetibilidade de causa e efeito, proporcionou a difusão entre outros países, tendo em vista o sucesso de sua aplicabilidade em pesquisas que contemplem todos os ambientes geológicos e fisiográficos do mundo.

A Geologia Médica por sua vez, é uma ciência multidisciplinar, e foi estabelecida pelo Ministério da Ciência e Tecnologia- MCT (BRASIL, 2005) como o estudo das relações existentes entre os aspectos geológicos naturais e a saúde. Esse campo da ciência visa o bem-estar do homem assim como dos demais seres vivos, o reconhecimento e descrição das fontes naturais e antrópicas e as modificações e grau de exposição aos agentes químicos.

A Geomedicina, como também é denominada a Geologia Médica, estuda as influências que acontecem em função da decomposição de rochas e da remobilização química natural por erosão e da incorporação no ambiente por meios das atividades antrópicas, dos elementos químicos. Siegel (2002) *apud* Corrêa (2006) destaca que a avaliação ambiental desse tipo de estudo abrange as duas condições, já que as irregularidades químicas ao ambiente originam-se pela combinação de ocorrências naturais e antropogênicas.

Sendo assim, a Geologia Médica e a Geoquímica são classificadas como campo do conhecimento científico que percorre as ciências naturais (Química e Geologia, por exemplo) mantendo sempre relação com as ciências da saúde, já que é nesta área onde há maior aplicabilidade de suas pesquisas. No diálogo entre estas disciplinas Guedes (2012) aponta que suas finalidades caminham para uma questão em comum, ao pretender por meio destes diálogos interdisciplinares, o entendimento a cerca das causas e efeitos dos problemas ambientais e a procura de novos rumos para um ambiente sustentável.

4 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha

Assad; Sano (1993) salientam que é de “fundamental importância o estabelecimento de uma unidade básica de planejamento no que diz respeito aos parâmetros ambientais e objetivos que se desejam atingir em uma determinada região, sendo neste caso a bacia hidrográfica a unidade básica ideal”.

Espíndola (2000) propõe que a bacia hidrográfica vem sendo escolhida como unidade físico-territorial para o planejamento e a gestão dos recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos. Este mesmo autor acrescenta que:

[...] sendo a água de um manancial o resultado da drenagem de sua bacia, sua qualidade e, portanto, suas características físicas, químicas, biológicas e ecológicas encontram-se sempre na dependência direta das ações (uso e ocupação) que se realizam no solo dessa bacia, bem como o grau de controle que se tem, sobre essas fontes.

O estudo da composição química da água e dos sedimentos possibilita a mensuração dos elementos químicos em bacias hidrográficas expostas a fontes de contaminação, sendo elas naturais ou antropogênicas, e contribui para o diagnóstico seguro à cerca da realidade ambiental destas bacias (MAIA, 2004). Pinto (2010) complementa então, que o uso deste compartimento é fundamental para compreender sua dinâmica por meio da avaliação da qualidade da água, ao empregar a água como parâmetro de qualidade ambiental.

Sendo assim, a compreensão das características da qualidade da água é fundamental ao proporcionar informações sobre as condições da bacia hidrográfica em sua totalidade. Ao analisar espacialmente e temporalmente este compartimento em termos de qualidade da água, reúne dados indispensáveis para o gerenciamento e intervenção nesta bacia, necessários para planos de recuperação ou preservação dos recursos hídricos.

A bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha tem área total de 70.315 km². Desta, 65.751 km² situam-se em Minas Gerais, enquanto 4.564 km² estão na Bahia (IGAM, 2015). O Rio Jequitinhonha tem extensão de 1.004 km, nasce na serra do Espinhaço Meridional, no município de Serro em Minas Gerais, percorre a porção nordeste do Estado e deságua no Oceano Atlântico, em Belmonte no Estado da Bahia. Durante seu percurso, percorre litologias do Supergrupo Espinhaço (onde estão situadas suas nascentes), Grupo Macaúbas, substrato cristalino e Formação Barreiras (somente no estado da Bahia) (FERREIRA; SAADI, 2011).

Segundo o IGAM (2015) a área abrange 63 municípios mineiros e 7 baianos e população de aproximadamente 977.800 pessoas.

A porção da bacia localizada no Estado de Minas Gerais está compreendida entre os paralelos 15°39' e 18°36'S e os meridianos 39° 50' e 43° 48'W, com orientação dominante SW-NE (FERREIRA; SAADI, 2011). É subdividida em três Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) de acordo com o Mapa 1: **JQ1- Alto Rio Jequitinhonha**: abrange nascentes até montante da confluência com o rio Salinas e tem 10 sedes municipais e uma área de 19.855 km²; **JQ2- Rio Araçuaí**: Abrange um total de 21 sedes municipais e área de 16.280 km²; e **JQ3- Médio e Baixo Rio Jequitinhonha**: rio Jequitinhonha, de montante da confluência com o rio Salinas até divisa do Estado (exceto a bacia do Araçuaí), e área de 29.617 km² (IGAM, 2016).

Mapa 1: Divisão de Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas de Minas Gerais- 2012.



Fonte: IGAM, 2015.

4.2 Localização

O garimpo Areinha está localizado na bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha, na UPGRH, JQ1- Alto Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais, a nordeste do município de Diamantina e a 323 Km de distância da capital do Estado, Belo Horizonte. Tem extensão de aproximadamente 28 km, e é delimitada pelas coordenadas geográficas 17°55'00''S e 43°31'08''O.

4.3 Histórico do garimpo na região de estudo

No final do século XVII, a expansão bandeirante deu ao Estado de Minas Gerais relevância nacional, devido à quantidade de ouro e diamante. O município de Diamantina, inicialmente conhecido como Arraial do Tijuco, surgiu nesse contexto de expansão e exploração intensa, mantendo por mais de três séculos a exploração mineral nos alúvios, associado com rápido e desordenado aumento populacional (PEREIRA, 2005).

No início do século XVIII com a descoberta oficial do diamante no ano de 1729, atribuída a Bernardo da Fonseca Lobo, as atividades de garimpo se intensificaram na região de Diamantina (OLIVEIRA; VIEIRA, 2012). No século XIX, a região da antiga Demarcação Diamantina era movimentada pelos intensos serviços de lavra e pela exploração diamantífera, sendo os garimpeiros os responsáveis pelos achados de diamantes, mas que rapidamente foram tomados pelos grandes mineradores (MARTINS, 2012).

Diamantina possuía, entre as décadas de 1860 e 1870, o registro das principais áreas de mineração da região que englobavam: Rio Pardo Pequeno, Caldeirões, Jequitinhonha, Córrego do Quilombo, Bambá, Serrinha, Datas, Riacho das Varas, Rio das Pedras e Caetemirim, sendo o distrito de Mendanha, situado a cerca de 30 quilômetros ao norte de Diamantina e cortado pelo Rio Jequitinhonha, um dos principais centros de mineração da região (MARTINS, 2012).

Após a expansão do garimpo nessas áreas, Diamantina passou a ser considerada como a maior lavra de pedras preciosas do mundo ocidental, os diamantes que saíam da região distribuíam riquezas pelo país e pelo mundo. Com a importância destas áreas para o setor econômico, em meados do século XX, foram introduzidas bombas nos garimpos, que faziam com que as atividades passassem de exclusivamente manuais para semi-mecanizadas.

As primeiras extrações mecanizadas no garimpo Areinha datam de 1962, com a fundação da empresa Tejucana S.A., e, no ano de 1988, com o início da extração de diamante

e ouro nos aluviões pela empresa Mineração Rio Novo Ltda. (MRN) do Grupo Andrade Gutierrez (SCLAR, 2006). Este novo tipo de maquinário passou a ser responsável então, pela extração dos sedimentos do rio, fazendo com que a atividade fosse realizada de maneira ainda mais intensa.

A MRN desenvolveu um programa de lavra como o Projeto Domingas, realizando a extração ao longo de 28 km do Rio Jequitinhonha, entre os municípios de Couto de Magalhães de Minas e Diamantina. Dentre as concessões, a MRN desenvolveu a lavra com base em Licenças de Operação concedidas pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), nos processos administrativos números 090/85/04/88 e 090/85/08/93, tendo como base os estudos realizados pelo Plano de Controle Ambiental (PCA) e Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), aprovados pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) em 1990.

No ano de 1989, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) interditou as atividades realizadas na região, de acordo com a Lei Federal 6.938/81 e com o Decreto 88.351/83, devido ao estado crítico de poluição em que se encontrava o Rio Jequitinhonha e a necessidade de abastecimento de água nos municípios a jusante do rio. Dois meses depois, no entanto, as atividades foram retomadas aos poucos, asseguradas pela assinatura de termos de compromisso entre os garimpeiros e a FEAM.

Buscando regulamentar a situação do garimpo na região de Diamantina, segundo Martins (2007), em 1994, formou-se em Diamantina a Cooperativa Regional de Garimpeiros de Diamantina (COOPERGADI) com as metas principais de obtenção de concessões para a pesquisa e lavra de jazidas garimpáveis, promoção econômico-social dos garimpeiros e aperfeiçoamento da legislação de acordo com os interesses dos garimpeiros. Os membros eram em geral proprietários de bombas e de garimpos.

Ao longo dos anos, o Ministério Público de Diamantina denunciou graves ações contra os garimpeiros, que envolviam processos de degradação ambiental, sonegação fiscal e exploração do trabalho infantil. Novamente, as frentes de lavra foram suspensas e, em 1995, desencadeou-se a “Operação Jequitinhonha”, articulada pela Polícia Florestal, Instituto Estadual de Florestas (IEF), FEAM e pelo IBAMA, quando diversas lavras no Rio Jequitinhonha, entre as comunidades rurais de Maria Nunes e Caçaratiba, foram embargadas (MARTINS, 2007). Em 2006, a MRN, considerando inviável a permanência e extração no garimpo Areinha, encerrou suas atividades no local, deixando um passivo ambiental considerável na área.

A atividade de extração dos garimpos no Estado de Minas Gerais é considerada problema ambiental de relevância, pois as técnicas utilizadas quando artesanais, expõem os garimpeiros ao contato direto com os rejeitos e possíveis reagentes utilizados nos processos de extração, podendo causar agravos à saúde dos trabalhadores e da população envolvidos no processo, além de prejuízos para a fauna e a flora expostas na região.

De acordo com um ex-presidente da COOPERGADI, houve utilização de mercúrio (Hg) pelo menos desde a década de 1980. Este elemento, classificado como um metal pesado é prejudicial à saúde humana e ao ambiente, devido ao seu longo tempo de bioacumulação. Assim, a escolha dessa seção da bacia pauta-se nas particularidades históricas, naturais e nas características antrópicas intensas, que tem degradado a área e colocam em risco a saúde da população da região.

A COOPERGADI propõe para a manutenção da preservação do ambiente e do desenvolvimento social e econômico da região do Rio Jequitinhonha a não restrição da atividade garimpeira e a criação de leis que tornem a atividade legal, com a legalização das atividades existentes, para que haja, por meio do licenciamento ambiental, a instituição e exigência dos instrumentos de conservação e restauração do ambiente degradado (COOPERGADI, 2013).

4.4 Aspectos fisiográficos

A água colabora para a formação de um sistema de interações no contexto da evolução e dinâmica das paisagens, levando-se em conta os processos geomorfológicos, geológicos, climáticos, vegetacionais, pedológicos, e bióticos (FERREIRA, 2007). A seguir, estão descritos os aspectos fisiográficos da região de estudo.

4.4.1 Aspectos vegetacionais

A região da área pesquisada encontra-se inserida no bioma cerrado, sendo que as condições do clima, relevo e composição dos solos, proporcionaram a formação de várias fitofisionomias: floresta estacional semidecidual, cerrado ralo, cerradão, cerrado rupestre, campo limpo, campo limpo úmido e campo rupestre, apresentando fauna composta por reptéis, mamíferos, avifauna e animais aquáticos (COSTA, 2005, p. 141).

Em certas áreas nas margens do Rio Jequitinhonha, e nas de seus principais afluentes, onde existem áreas topograficamente mais planas, há o desenvolvimento de uma

vegetação denominada mata ciliar (Figura 1a,b). Nas áreas topograficamente mais elevadas, onde prevalecem solos litossólicos, encontra-se uma diversidade de comunidades que compõem os campos rupestres (LACERDA, 2005).

A região de Diamantina a partir da abundância florística nos campos rupestres, variedade de habitats e características climáticas, propiciam o alto índice de endemismos (fenômeno no qual uma espécie ocorre exclusivamente em determinada região geográfica) da Serra do Espinhaço (LACERDA, 2005).

Figura 1: (a) Aspectos vegetacionais - Vegetação remanescente. (b) Aspectos vegetacionais - Mata ciliar.



Fonte: FREITAS, 2016.

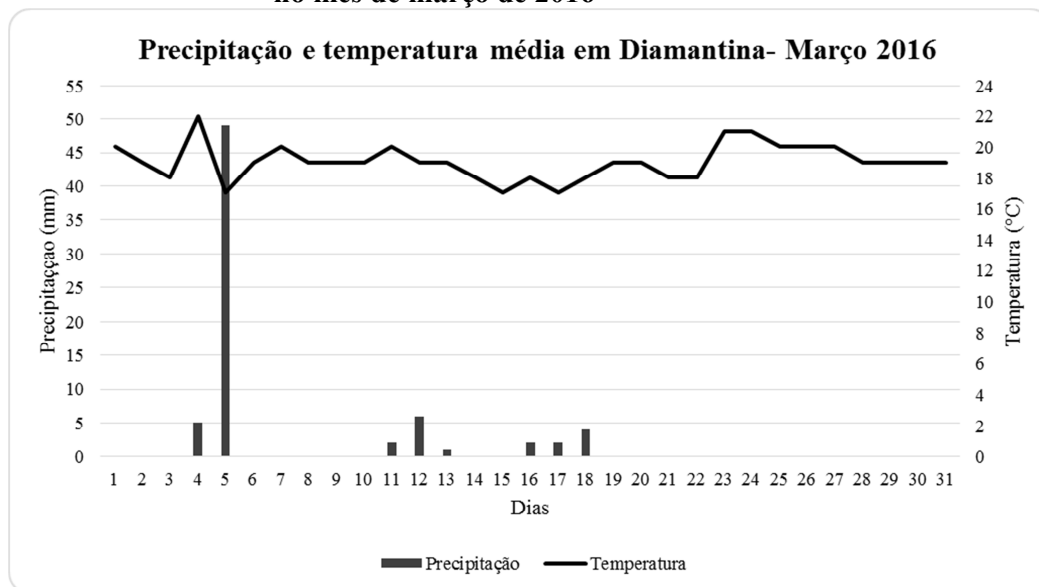


Fonte: FREITAS, 2016.

4.4.2 Aspectos climáticos

A determinação das chuvas na região da área de estudo, está relacionada, sobretudo, pela resposta atmosférica às barreiras geográficas e pela localização geográfica (LACERDA, 2005). O clima da área de pesquisa é classificado como CWb Tropical de Altitude, com chuvas no verão e invernos secos. O regime térmico é caracterizado por temperaturas médias mensais: janeiro em torno de 24°C a 23°C, junho e julho 18°C a 17°C, a média pluviométrica anual é de 1.304 mm (NEVES; ABREU; FRAGA, 2005, p.48).

Gráfico 1: Valores médios de precipitação e temperatura do município de Diamantina no mês de março de 2016



Fonte: Dados do Instituto Nacional de Meteorologia, 2017.

4.4.3 Características geológicas

De acordo com o estudo de Fraga (2013) usado como referência para a caracterização geológica da região de estudo, o substrato rochoso da área é constituída por:

[...] por rochas do Supergrupo Espinhaço (quartzitos e metaconglomerados da Formação Sopa-Brumadinho e quartzitos finos da Formação Galho do Miguel). Estas ocorrem preferencialmente na porção oeste da área, onde estão assentadas, em discordância erosiva sobre as rochas metassedimentares basais do Grupo Macaúbas. Grande parte das rochas basais do Grupo Macaúbas na região nordeste, foram agrupadas na Formação Duas Barras (metassedimentos siliciclásticos) ou na Formação Domingas (metapelitos e dolomitos) (p. 52).

O compartimento das Serras do Espinhaço reúne as nascentes do Rio Jequitinhonha, variação altimétrica entre 600 e 2.000 metros e uma seqüência de serras de aproximadamente 1.000 km de comprimento (50/100 km de largura) que conecta os Estados de Minas Gerais e da Bahia, ultrapassando desta forma os limites da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha (LACERDA, 2005). A geologia da Serra do Espinhaço pode ser caracterizada com a predominância de quartzitos que compõem a cobertura rígida, mas com presença de fraturas e cisalhamentos em toda a sua extensão, e segundo Saadi (1995):

As formas de relevo resultantes de sua esculturação pela dissecação fluvial são representadas, majoritariamente, por cristas, escarpas e vales profundos adaptados às direções tectônicas estruturais. Ressalta-se que a evolução geomorfológica da Serra do Espinhaço foi condicionada pelos fatores estruturais, morfoestruturais, morfotectônicos e paleoclimáticos. As superfícies de aplainamento paleogênicas encontram-se representadas pelos planaltos com alinhamentos de cristas e com

monadnocks quartzíticos.

As rochas xistosas predominantes do Grupo Macaúbas, segundo Ferreira (2007):

[...] ocorrem em uma vasta área da bacia do Jequitinhonha, desde os flancos da serra do Espinhaço à região ocupada pelos municípios de Novo Cruzeiro, Araçuai, Coronel Murta, Rubelita e Salinas. Estão dispostas discordantemente sobre diversas unidades arqueanas e, secundariamente, sobre rochas do Supergrupo Espinhaço. Conforme já mencionado, expressivas áreas de rochas xistosas estão cobertas pelas coberturas detriticas cenozoicas.

O Grupo Macaúbas localizado na região nordeste da Serra do Espinhaço é constituído por rochas que marcam a evolução tectônica e sedimentar do início ao fim do Neoproterozóico, na borda sudeste do Cráton São Francisco (FRAGA, 2013).

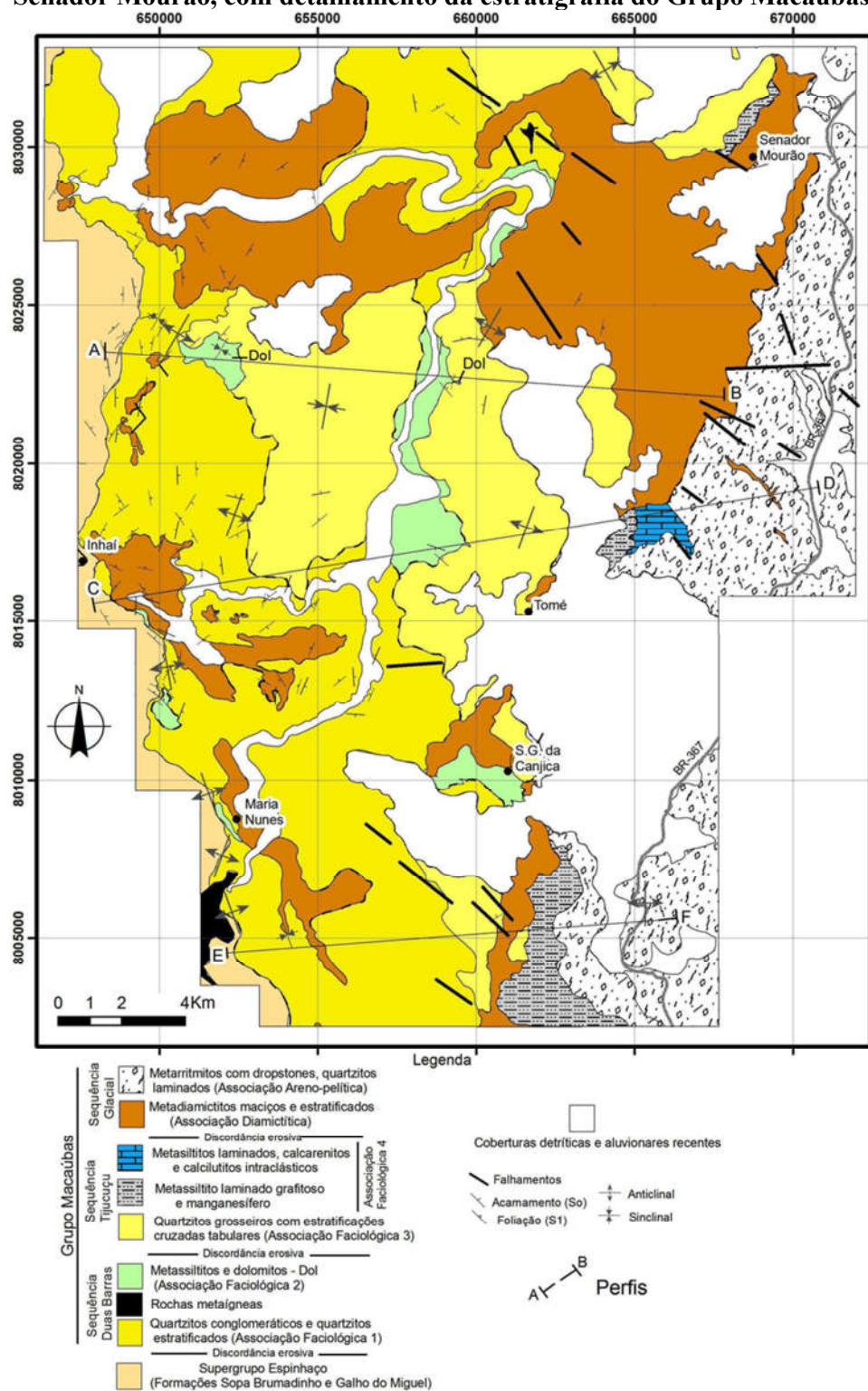
As diferentes fácies do Grupo Macaúbas (Mapa 2) para a região de Inhaí e Domingas, à nordeste da Serra do Espinhaço, apresenta um sistema deposicional fluvial entrelaçado para os quartzitos da Formação Duas Barras e um sistema deposicional glacial representado por pacotes de metadiamicritos isolados em pequenos afloramentos, alinhados próximo ao contato com o Supergrupo Espinhaço (FRAGA, 1999).

Fraga (2013), em sua pesquisa na região de estudo, apresentou a organização dos metassedimentos basais do Grupo Macaúbas em sequências deposicionais que são compostas por várias Associações Faciológicas (AFs). Assim, na região nordeste da Serra do Espinhaço Meridional, o Grupo Macaúbas foi representado pela:

Sequência Duas Barras, subdividida em: Associação Faciológica 1 (AF 1) constituída por metarenitos e metaconglomerados, e Associação Faciológica 2 (AF 2) constituída por pacotes de metapelitos com lentes de dolomito; Sequência Tijucuçu, (denominação relacionada à ocorrência de pacotes calcários na fazenda homônima). Corresponde a uma variação lateral de fácies, que inicia numa planície fluvial passando por ambiente costeiro (Associação Faciológica 3) até marinho raso, com predomínio de fácies pelíticas laminadas com formação de rochas autigênicas carbonáticas e rochas manganíferas (agrupadas na Associação Faciológica 4) (FRAGA, 2013).

Na calha do Rio Jequitinhonha, aflora a camada de metassiltitos da AF 2, onde são encontradas outras lentes de dolomito estromatolítico (SCHÖLL, 1976 *apud* FRAGA, 2013). Em discordância erosiva sobre as camadas da AF 2, ocorrem camadas tabulares de metarenitos grosseiros da AF 3 contendo *sets* com estratificação (FRAGA, 2013). A Formação Domingas aflora de forma descontínua ao longo da calha do Rio Jequitinhonha e próximo ao distrito de Inhaí, na localidade da Fazenda Boqueirão (NOCE *et al.*, 1997 *apud* FRAGA, 2013) e os afloramentos deste compartimento são constituídos por camadas de metassiltitos maciços e metapelitos laminados, contendo no topo, lentes de dolomito cinzento composto por estruturas estromatolíticas (FRAGA, 2013).

Mapa 2: Mapa geológico da região entre Couto de Magalhães de Minas e Senador Mourão, com detalhamento da estratigrafia do Grupo Macaúbas.



Fonte: FRAGA, 2013.

4.4.4 Geomorfologia e Geomorfologia Fluvial

As formas de relevo da bacia do Rio Jequitinhonha, estão estreitamente relacionadas às características geológicas. O arranjo estrutural das rochas, em associação com os fatores meteóricos, modelou o relevo dividindo-o em quatro grupos geomorfológicos (FERREIRA, 2007). Para esta pesquisa, utilizou-se somente a análise dos compartimentos 1,2 e 4 como descritos a seguir:

1. Serra do Espinhaço: Segundo Ferreira (2007), o relevo é influenciado pela litologia e estrutura, e compreende o conjunto de cristas, picos e colinas alinhado na direção N-S com altitudes variando entre 1000 e 1400m, separando a bacia do Rio Jequitinhonha da bacia do Rio São Francisco. De acordo com o mesmo autor, “muitos escarpamentos ajustam-se exatamente com linhas de falhas, as vertentes são íngremes e os vales são fortemente encaixados” (FERREIRA, 2007). Saadi (1995) interpretou a geomorfologia dessa região, a partir primeiramente dos aspectos geológicas, para logo após, estudar o relevo, hidrografia e a evolução da paisagem, resultando em uma análise sobre os papéis dos paleoclimas e da tectônica neste contexto.

2. Planaltos do Rio Jequitinhonha: abrange uma porção do alto e praticamente todo o segmento médio da bacia. Ferreira (2007) afirma que neste compartimento “ocorrem chapadas de dimensões e graus de ramificação variados, com altitudes entre 800 e 1100m e baixa densidade de drenagem”, na qual a “drenagem é fortemente controlada pela estrutura geológica”.

4. Depressão do Jequitinhonha: região deprimida localizada ao longo do vale do Rio Jequitinhonha e de alguns de seus afluentes. Segundo Ferreira (2007) “as altitudes variam de 400 m nas proximidades do município de Araçuaí a 150 m no limite leste da porção mineira da bacia”. Escarpas alinhadas delimitam o compartimento geomorfológico com o dos planaltos do Rio Jequitinhonha (FERREIRA, 2007).

O garimpo Areinha está localizado no compartimento geomorfológico Serra do Espinhaço Meridional, mais especificamente na depressão do Rio Jequitinhonha. O canal fluvial do Rio Jequitinhonha, próximo à nascente, apresenta fluxo turbulento com maior transporte de sedimentos, pois é esta área que há maior declividade. No segmento médio e baixo curso o segmento apresenta características de fluxo laminar. Devido à intensa atividade antrópica (garimpo) parte do canal original encontra-se alterado, modificando a dinâmica fluvial (Figura 2 a,b).

Figura 2 (a,b): Morfologia do canal fluvial do Rio Jequitinhonha



Fonte: FREITAS, 2016.



Fonte: FREITAS, 2016.

4.4.5 Aspectos pedológicos

Ferreira (2007) afirma que na bacia de estudo há prevalência dos cambissolos, latossolos e argissolos. Os latossolos ocupam 42% da área, seguidos pelos argissolos (30%), cambissolos (19%) e litossolos (9%). Ocorrem, também, manchas de litossolos e afloramentos rochosos, principalmente nas áreas de expostas do Supergrupo Espinhaço, pequenas manchas de terra roxa, areias quartzozas e solos aluviais (FERREIRA, 2007). A maioria dos solos da região segundo o mesmo autor citado acima, apresenta algum tipo de restrição, que provoca baixos índices de produtividade, e quando manejados incorretamente, podem alcançar um nível de degradação cuja recuperação é inviável economicamente (FERREIRA, 2007) (Figura 3a,b).

Figura 3 (a,b): Variação dos aspetos pedológicos.



Fonte: FREITAS, 2016.



Fonte: FREITAS, 2016.

4.4.6 *Uso e ocupação da terra*

Desde o século XVIII, a bacia do Rio Jequitinhonha já havia sido ocupada devido “à existência de regiões ricas em recursos minerais, e de áreas propícias à pecuária extensiva, o que provocou intenso desmatamento, exposição de vertentes através de plantações sem terraceamento e compactação de solos causada por pisoteamento de animais”(FERREIRA, 2007).

Na região do Alto Jequitinhonha, existem áreas ocupadas por agricultura de subsistência que localizam-se basicamente nas proximidades dos corpos d’água, ocupando até mesmo áreas de preservação permanente (FERREIRA, 2007). A mineração e o garimpo estão geralmente inseridos nas planícies aluviais e apresentam grande impacto negativo no meio físico, devido ao processo de extração das pedras preciosas, ocasionando em alterações nos geoambientes (Figura 4 a,b e Figura 5 a,b). O cultivo de eucalipto também está presente nesta região, ocupando os topos das chapadas que eram anteriormente constituídas pelo cerrado, contribuindo intensamente para o uso do solo deste espaço regional (FERREIRA, 2007).

Figura 4: (a) Utilização de bombas dentro das cavas para o desmonte hidráulico do talude. (b) Desnível topográfico entre a superfície e o fundo da cava.



Fonte: FREITAS, 2016.



Fonte: FREITAS, 2016.

Figura 5: (a) Bacia de retenção. (b) Lançamento dos rejeitos do garimpo diretamente no leito do rio.



Fonte: FREITAS, 2016.



Fonte: FREITAS, 2016.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

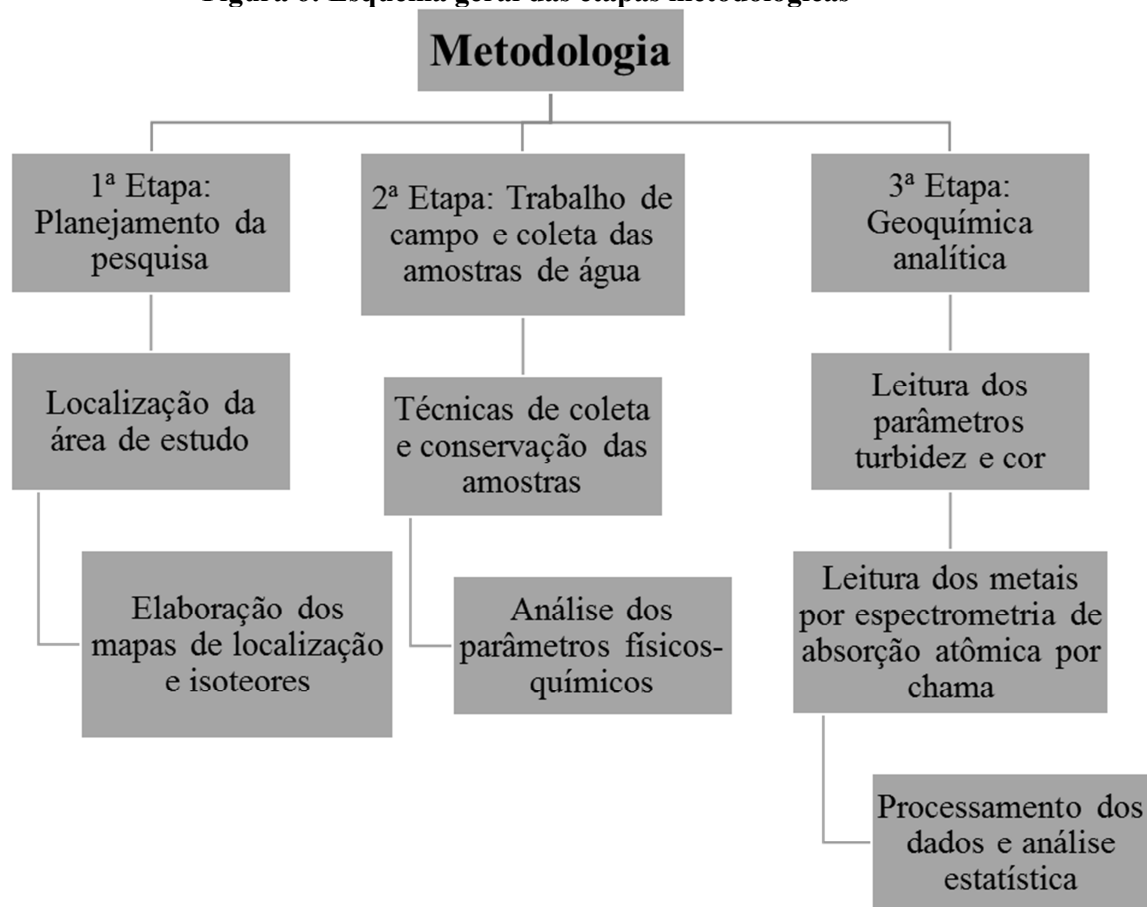
A pesquisa é do tipo exploratório observacional. O método utilizado para seu desenvolvimento caracterizou-se pela abordagem de caráter quantitativa, por mensuração do nível dos parâmetros analisados, além de comparação com os níveis de referência das legislações ambientais vigentes, e também de caráter qualitativo, pela compreensão do possível fenômeno de contaminação ambiental associado ao risco à saúde da população.

Para concretização da pesquisa, foi possível contar com a presença de membros técnicos e da coordenação da COOPERGADI, que apoiou as campanhas de campo. Ainda para execução das atividades foi requerida a presença de um discente de iniciação científica do Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGA) da UFVJM, para auxílio na coleta e no transporte das amostras. A análise das amostras foi realizada no Laboratório Integrado de Pesquisa Multiusuário dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (LIPEMVALE) e no LGA da UFVJM.

Todas as etapas executadas neste trabalho foram fundamentais para a concretização da pesquisa, bem como do planejamento do plano metodológico (Figura 6). Diante disso, foram realizadas três etapas:

- 1ª etapa: Planejamento da pesquisa; levantamento bibliográfico e cartográfico; localização e delimitação da área de estudo e elaboração dos mapas de localização e isotores.
- 2ª etapa: Execução da atividade de campo; localização e georreferenciamento do pontos de amostragem, técnicas de coleta e conservação de amostras, análise *in situ* dos parâmetros físico-químicos.
- 3ª etapa: Análise geoquímica da água por espectrometria de absorção atômica por chama; leitura dos parâmetros cor e turbidez; aplicação de métodos e programas estatísticos específicos para apoio na tabulação, quantificação e interpretação dos resultados encontrados.

Figura 6: Esquema geral das etapas metodológicas



5.1 Primeira etapa- Planejamento da pesquisa

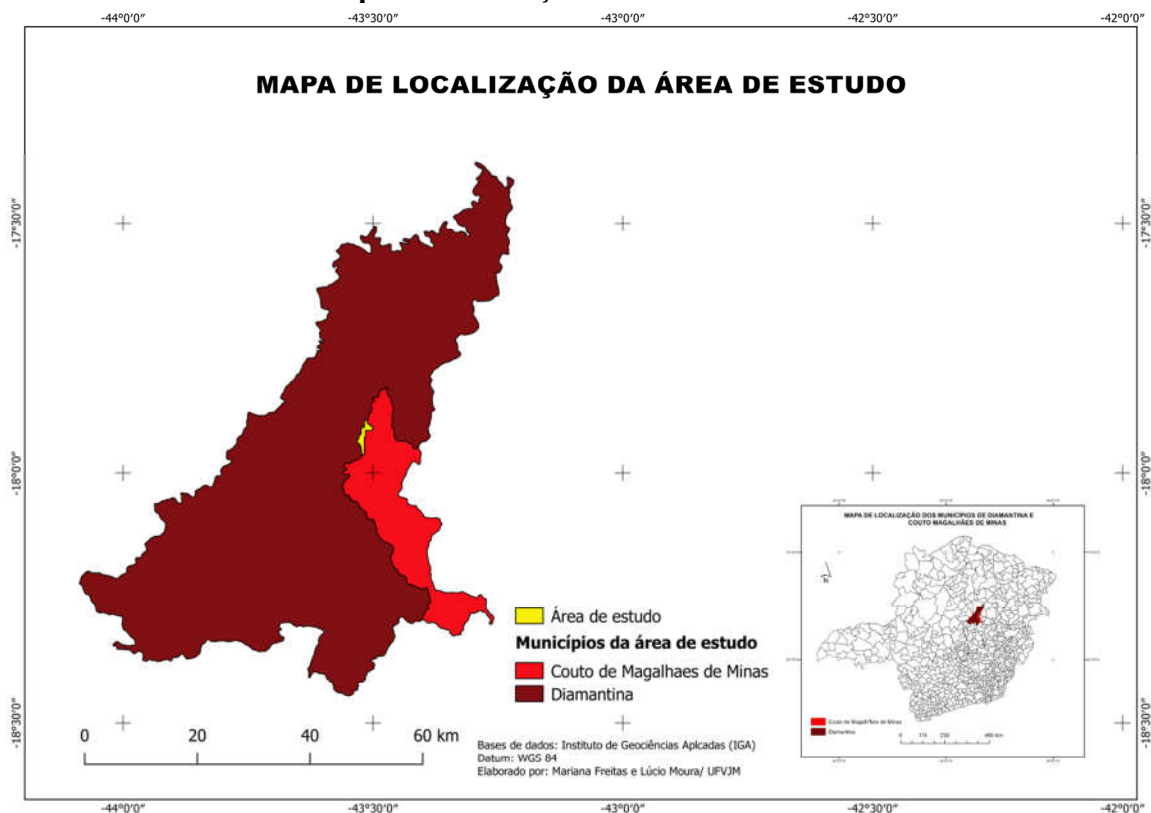
Foi primeiramente realizado o planejamento do trabalho por meio do levantamento bibliográfico e cartográfico da área de estudo, necessários para construção de um embasamento teórico referente aos aspectos físicos e socioeconômicos que deram sustentação para o desenvolvimento da pesquisa.

Baggio (2008) orienta que as técnicas para escolha dos pontos sejam observadas de modo a considerar o eixo principal de drenagem, abordando as variações na paisagem que possam refletir, nos diferentes tipos de unidades litológicas e materiais de origem, nos compartimentos geomórficos com suas variações topográficas, nas diferentes formações vegetacionais, além do uso e ocupação do solo. Para definição dos pontos de amostragem desse estudo foram considerados também locais de acesso viável ao Rio Jequitinhonha.

5.1.1 Delimitação da área de estudo

O local delimitado para estudo no garimpo Areinha compreende a área que está sob administração da COOPERGADI, entre as coordenadas geográficas $-17^{\circ}54'21''48$ S, $-43^{\circ}30'01''57$ W e $-17^{\circ}57'19''98$ S, $-43^{\circ}31'18''98$ W. Esta área está cadastrada no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), por meio do número de processo 830663/2013, tem 779,45 hectares e 9 quilômetros de extensão do Rio Jequitinhonha (Mapa 3). Partindo-se de Diamantina, o acesso ao local se dá pela BR-367 por 60 km até o entroncamento para o povoado Tomé, desse ponto, percorre-se uma estrada vicinal por 10 km até a área do garimpo.

Mapa 3: Localização da área de estudo



5.1.2 Elaboração dos mapas

A região de estudo está recoberta pela extremidade de duas cartas topográficas: a Sudeste da Folha Curimataí (SE-23-X-C-VI) e a Sudoeste da Folha Carbonita (SE-23-X-D-IV), ambas com escala de 1:100.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), impressão 1977 e Datum Córrego Alegre.

O mapa de localização da área de estudo foi elaborado a partir de dados do Instituto de Geociências Aplicadas, utilizando bases das áreas municipais de Diamantina e Couto de Magalhães de Minas que foram trabalhadas no *software* QGis 2.14.16. Para confecção do mapa de localização dos pontos de amostragem foi utilizado dados levantados em campo com GPS e imagem de multiespectrais Landsat 8, órbita 218 (Ponto 072\Diamantina) de 23/12/2016 retirada do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Todos os dados foram executados no *software* QGis 2.14.16.

Os mapas de valores de concentração dos elementos químicos identificados na pesquisa foram elaborados a partir dos resultados obtidos nas análises e espacializados de acordo com a localização dos pontos de amostragem. Todos os dados foram trabalhados no *software* QGis 2.14.16.

5.2 Segunda etapa- Trabalho de campo e coleta das amostras de água

O trabalho de campo foi essencial para o desenvolvimento da pesquisa, considerando-se sua importância para a caracterização dos aspectos físicos e sócio ambientais da área de estudo, do entendimento acerca do processo da atividade garimpeira e da identificação das possíveis fontes de contaminação. O registro de imagens do garimpo Areinha apresentadas acima, foram obtidas por meio de levantamento fotográfico.

Segundo o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA (2011), quando se deseja estudar a qualidade da água de um corpo d'água, para selecionar a localização do local de amostragem, deve-se considerar a existência de lançamentos de efluentes líquidos industriais e/ou domésticos, e a ocorrência de afluentes na região de interferência do ponto de amostragem, uma vez que estes detalhes podem interferir a qualidade da água.

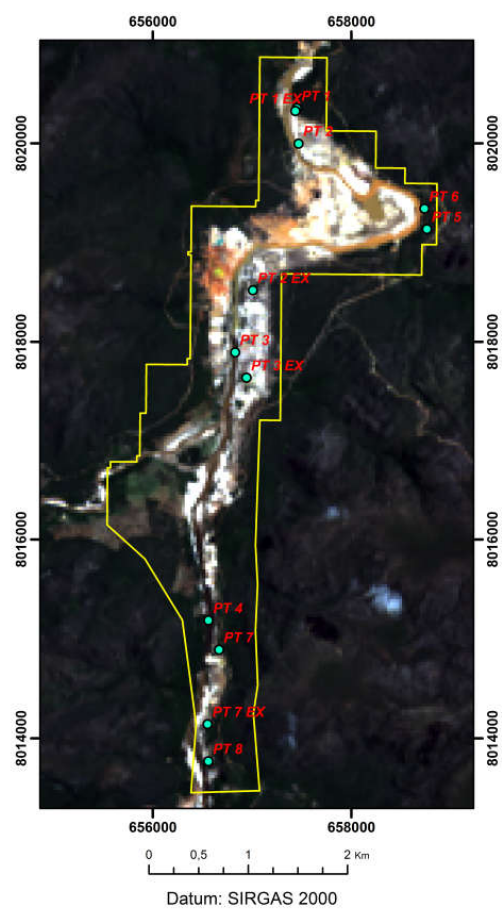
Foram coletadas treze amostras de água na estação chuvosa (31 de março 2016) (Mapa 4). Os pontos de amostragem foram distribuídos sistematicamente, sendo oito coletadas na margem direita, de jusante a montante do segmento do Rio Jequitinhonha inserido na área da COOPERGADI, dois em bacias de retenção provenientes da atividade garimpeira, um em um trecho com matéria inorgânica, um a jusante de um afluente do canal fluvial principal e outro no segmento do Rio Jequitinhonha situado no distrito de Mendanha (Tabela 1).

A escolha pela coleta dos pontos estabelecidos em diferentes locais, além daqueles inseridos dentro da área de estudo, foi importante para identificação e comparação

dos fatores que podem determinar a diferença entre a presença, distribuição e concentração dos parâmetros analisados.

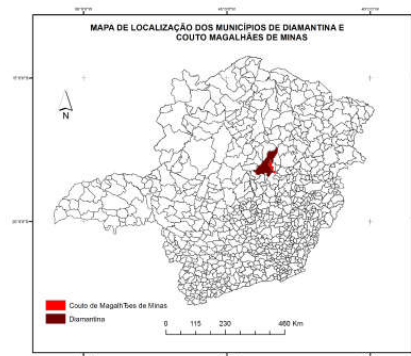
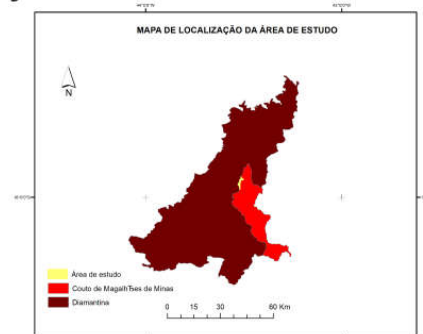
A marcação dos pontos foi utilizado o Global Positioning System (GPS) *Map 76cxs* Garmin, com precisão média de 7 m. Todos os pontos foram georreferenciados para elaboração do mapa de localização dos pontos de amostragem e do mapa de valores de concentração dos elementos químicos identificados.

Mapa 4: Localização dos pontos de amostragem



Autores: Lúcio do Carmo Moura
Amanda Dias Araújo
Mariana de Oliveira Freitas

LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM



Fonte: Imagem Landsat 8
Data de passagem: 23/12/2016

Tabela 1: Características dos pontos de amostragem

Pontos	Y-UTM	X-UTM	Altitude (m)	Comentário
Ponto 1	8020352	657452	655	Trecho do Rio Jequitinhonha e final da poligonal da COOPERGADI.
Ponto 1 Extra	8020323	657436	653	Bacia de retenção.
Ponto 2	8019995	657469	655	Trecho do Rio Jequitinhonha.
Ponto 2 Extra	8018519	657009	658	Trecho com matéria inorgânica.
Ponto 3	8017887	656831	658	Trecho do Rio Jequitinhonha.
Ponto 3 Extra	8017640	656938	663	Bacia de retenção.
Ponto 4	8015187	656564	665	Trecho do Rio Jequitinhonha, próxima a sede da COOPERGADI.
Ponto 5	8019137	658762	652	Afluente do Rio Jequitinhonha.
Ponto 6	8019343	658737	652	Trecho do Rio Jequitinhonha.
Ponto 7	8014890	656666	637	Trecho do Rio Jequitinhonha.
Ponto 7 Extra	8014135	656553	637	Bacia de retenção.
Ponto 8	8013761	656559	653	Trecho do Rio Jequitinhonha e início da poligonal da COOPERGADI.
Ponto 9	7996733	656263	667	Proximidade com o distrito de Mendanha.

5.2.1 *Técnicas de coleta e conservação das amostras*

A Resolução ANA nº 724/2011, de 3 de outubro de 2011, preconiza metodologias específicas para o monitoramento da qualidade dos corpos d'água no âmbito do Plano Nacional de Avaliação da Qualidade da Água (PNQA), para a coleta e preservação de amostras de águas superficiais. Os procedimentos devem seguir o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (ANA, 2011), que estabelece que os procedimentos de coleta e preservação das amostras têm por finalidade:

- retardação da ação biológica e da modificação dos compostos químicos;
- redução da volatilidade ou da precipitação dos constituintes e dos efeitos de adsorção;
- preservação dos organismos, para evitar ou minimizar as alterações morfológicas, fisiológicas e de densidades populacionais, em todas as fases da amostragem (coleta, acondicionamento, transporte, armazenamento, até o momento da análise).

As amostras deste estudo foram coletadas a aproximadamente 10 cm da superfície do rio e a 30 cm de distância da margem, por meio do uso de garrafas de polietileno de 1.000 ml cada, previamente lavadas e ambientadas com a água do local. Após coletadas, as amostras foram identificadas e transportadas em caixas térmicas, conservadas com gelo, para não comprometer as características naturais das amostras. Nessas condições, as amostras foram armazenadas e refrigeradas a 4° C, no LGA da UFVJM, para posteriormente serem efetuadas as leituras dos parâmetros químicos e físico-químicos (cor e turbidez). Não houve a necessidade da adição de nenhum reagente de preservação, pois a análise da água foi realizada após o término das coletas em campo.

5.2.2 *Análise dos parâmetros físico-químicos*

A dinâmica de comportamento dos parâmetros físico-químicos varia de acordo com o ambiente físico e o tempo de maneira significativa e rápida (BAGGIO, 2008). Por este motivo, devem ser determinados *in situ*, para verificação de eventuais modificações que possam acontecer (ANJOS, 2003 *apud* BAGGIO, 2008). Para leitura da temperatura, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, pH e oxigênio dissolvido foi utilizado a sonda multiparâmetro HI 9828, previamente calibrada. Em campo, a medição consistiu na

submersão do sensor diretamente na lâmina d'água que, após alguns segundos, se estabiliza e apresenta os resultados dos parâmetros por meio de um leitor digital (Figura 7 e 8).

Figura 7: Análise in situ dos parâmetros físico-químicos.



Foto: ARAÚJO, 2016.

Figura 8: Sonda multiparâmetro HI 9828.



Foto: FREITAS, 2016.

O HI9828 é um sistema multiparâmetros que monitora até 13 parâmetros de qualidade da água (6 medidos, 7 calculados). A sonda multisensor acoplada no medidor é baseada em um microprocessador e permite medir parâmetros necessários para avaliar a qualidade da água. Para monitorar e gravar dados, o HI 9828 está equipado com o sistema da Hanna, Sistema de Identificação de Tag (TIS), cuja função permite que sejam instalados iButton©s com números de ID únicos que podem ser instalados nos locais de amostragem planejados (HANNA, 2006a). O aparelho tem um mostrador LCD que permite a visualização de 12 parâmetros simultaneamente e a exibição dos dados na forma de números ou gráficos. O medidor tem funções de BPL ou PLC, e o download dos dados pode ser efetuado via ligação USB.

5.3 Terceira etapa- Geoquímica analítica da água

A análise química das amostras foi realizada no LIPEMVALE da UFVJM, e a análise dos parâmetros cor e turbidez, o processamento dos dados e a análise estatística no LGA da mesma instituição.

5.3.1 Análise dos parâmetros físico-químicos cor e turbidez

Para análise de turbidez uma amostra de 10 ml foi colocada em um frasco de vidro, previamente higienizado, e inserido no turbidímetro *Portable Turbidimeter* Hanna HI 98703, devidamente calibrado. Os dados encontrados foram disponibilizados depois de alguns

segundos e fornecidos pelo leitor digital do aparelho (Figura 9). Para análise da cor, foi utilizado o fotocolorímetro Alfakit NCM/SH 90275020 e a análise constituiu-se nas mesmas condições de leitura do parâmetro turbidez (Figura 10).

Figura 9: Análise em laboratório do parâmetro turbidez.



Fonte: FREITAS, 2016.

Figura 10: Análise em laboratório do parâmetro cor.



Fonte: FREITAS, 2016.

O instrumento HI 98703 é um turbidímetro de alta precisão que mede uma amostra na faixa de 0 a 1000 NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Um algoritmo efetivo calcula e converte as leituras em NTU (HANNA, 2006b). De acordo com o fabricante, o aparelho tem alto grau de sensibilidade, mesmo quando os níveis de turbidez são muito baixos, o que é possibilitado pelo uso de uma fina camada de silicone aplicada no vidro de ensaio no ato da análise, para melhorar a passagem de luz. Os medidores de turvação mensuram a perda de transparência, devida às partículas em suspensão presentes na solução. O fotocolorímetro Alfakit NCM/SH 90275020 é um medidor de cor aparente microprocessado, com tecnologia nacional, e pode ser utilizado para análises *in situ* ou em laboratório (ARAÚJO, 2013).

5.3.2 Análise dos parâmetros químicos

As determinações das concentrações dos metais foram realizadas no espectrofotômetro de absorção atômica em chama (FAAS – *Flame Atomic Absorption Spectrometry*) da marca Varian, modelo SpectrAA 50B. Essa técnica é comumente utilizada para fins analíticos e explica que cada elemento tem um número específico de elétrons associados com seu núcleo. A organização mais estável de um átomo é denominado “estado fundamental” e apresenta a forma como este é encontrado no estado gasoso. Se uma dada quantidade de energia é aplicada sobre este átomo esta é absorvida, e um dos elétrons mais externos é conduzido a um nível energético superior, levando o átomo a uma configuração energética menos estável denominada “estado excitado”. Visto que esta configuração é instável, o átomo volta imediatamente para o “estado fundamental”, liberando a energia

absorvida sob a forma de luz (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002). Esta quantidade de energia absorvida está associada então, com a concentração do elemento de análise da amostra.

O método é um dos mais utilizados para dosagem de elementos em baixas concentrações e pode determinar de forma quantitativa os elementos (metal, semi metal ou ametal), em uma grande variedade de amostras, como materiais ambientais, biológicos, geológicos e alimentos (KRUG; NÓBREGA; OLIVEIRA, 2004). Essa técnica é mais empregada em análises elementares em níveis de mg/L, unidade de medida desejada para melhor percepção dos resultados deste trabalho.

Para leitura dos metais foram usadas as condições de trabalho do equipamento específicas para cada elemento, como descrito no Apêndice A. Neste trabalho, foram analisadas somente a concentração dos elementos Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, devido ao pequeno número de lâmpadas específicas disponíveis no laboratório para leitura de outros metais. Primeiramente, foram produzidas curvas de calibração para cada metal analisado, a partir de solução aquosa estoque comercial de 1000 ppm e em seguida, o preparo das amostras para não haver nenhuma impureza antes da leitura no equipamento.

Após esses procedimentos, foi colocada em média 37 ml de cada amostra para análise química dos elementos, o resultado apresentado na tela digital do equipamento foi usado em uma fórmula matemática, juntamente com o volume de cada uma das amostras e com os valores de concentração e absorbância obtidos da curva de calibração de cada metal, o valor apresentado ao final desta fórmula, consistiu no resultado final da análise química relativo à concentração de cada elemento na água (Figura 11).

Figura 11: Análise em laboratório dos parâmetros químicos



Fonte: ARAÚJO, 2016.

5.3.3 *Processamento dos dados e análise estatística*

Os resultados obtidos foram processados no programa Microsoft Excel (Office®). As médias, bem como as tabelas e gráficos apresentadas neste trabalho também foram efetuadas no Excel.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises da água do Rio Jequitinhonha, no trecho do garimpo Areinha, seguem discriminados nos Gráficos 2 a 12. Os valores encontrados foram comparados à Resolução Normativa do CONAMA nº 357/05 (Tabelas 2 e 3), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e dá outras providências. O CONAMA é um órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), que tem entre seus objetivos a proteção ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais, no qual se insere as de natureza da qualidade da água. A Resolução afirma que a classificação dos recursos hídricos é importante para a defesa de suas condições de qualidade, analisados por meio de referências específicas, de maneira a possibilitar seus usos preponderantes (RIBEIRO, 2010).

Ribeiro (2010) ainda afirma que as águas doces são classificadas em cinco classes, estabelecidas conforme o uso a que podem ser destinadas e com o tipo de tratamento prévio necessário. Todas as classes então, podem ser destinadas ao abastecimento humano, com exceção da classe 4. O Rio Jequitinhonha, na área de estudo, se enquadra na classe 2, que determina que os recursos hídricos podem ser destinados, de acordo com a resolução:

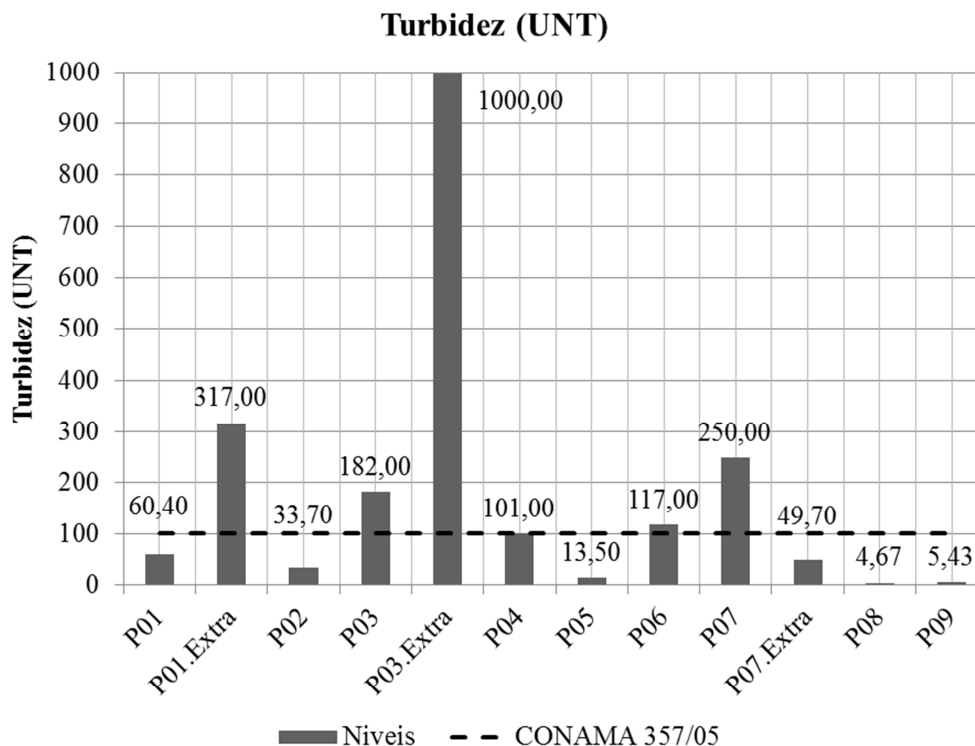
- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aquicultura e a atividade de pesca.

As normas determinadas para a classe 1 são aceitáveis também para a classe 2, mas apresenta algumas ressalvas para valores de oxigênio dissolvido e turbidez, por exemplo.

Para estabelecimento do valor de referência para o parâmetro físico-químico condutividade elétrica, foi determinado o valor citado por Baggio (2008), em que “em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados”.

Os gráficos 2 a 8 abaixo apresentam os resultados da análise dos parâmetros físico-químicos. Somente para temperatura, pH e sólidos totais dissolvidos foram obtidos valores em todos os pontos de amostragem em conformidade com a legislação ambiental vigente.

Gráfico 2: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada de turbidez. Análise efetuada por *Portable Turbidimeter Hanna HI 98703*.



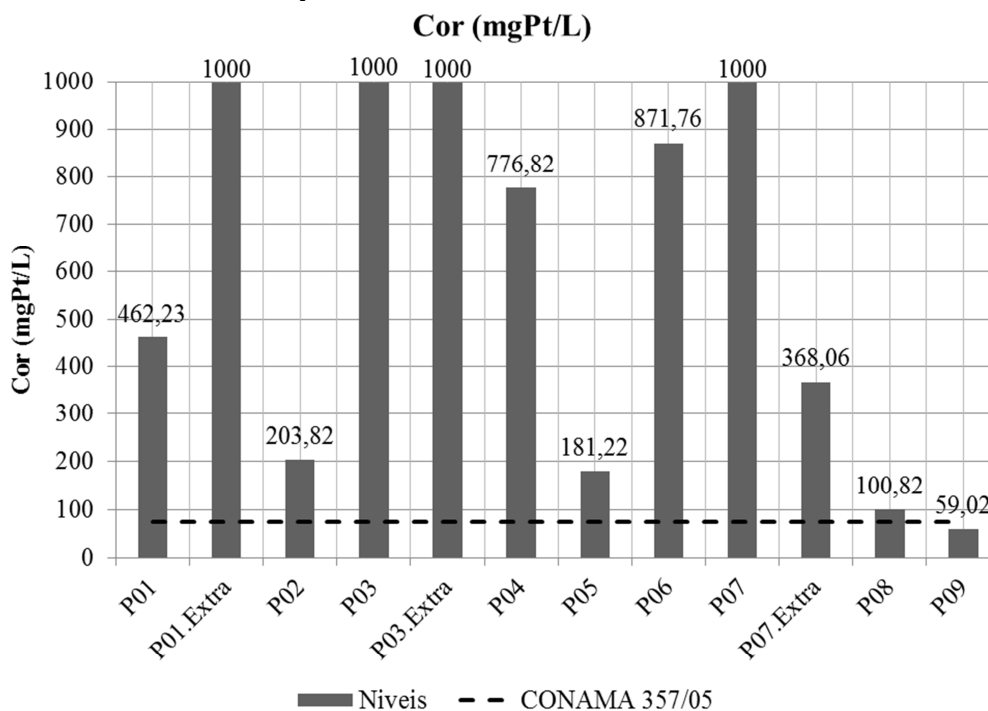
De acordo com Gandra (2012), o parâmetro turbidez indica o grau de interferência da penetração da luz provocada por partículas suspensas na lâmina d'água, que possibilitam sua dispersão e absorção. O aumento dos valores desse parâmetro está relacionado com o escoamento superficial que carreiam fragmentos oriundos do processo de erosão das margens do recurso hídrico e também pelo lançamento de efluentes industriais e domésticos diretamente nos corpos d'água (GANDRA, 2012). Na estação chuvosa, a turbidez apresenta maiores valores, já que há maior presença de partículas provenientes do escoamento superficial, apontando a má conservação dos solos ao longo do canal fluvial.

Os valores de turbidez encontram-se acima de 100 UNT, valor preconizado pela legislação, em seis dos treze pontos analisados, demonstrando que os valores variaram bastante no decorrer da amostragem (Gráfico 2). Os pontos que apresentaram os menores valores foram os locais onde a água não sofreu interferência direta da ação antrópica. Os pontos que apontaram valores elevados estão relacionados com os locais de bacias de retenção (Pontos 1 e 3 Extras), mas também em pontos localizados no leito do Rio Jequitinhonha (Pontos 3, 4, 6 e 7). O aumento acima do valor estabelecido pelo CONAMA 357/05 significa que o corpo hídrico requer cuidados especiais, visto que as taxas elevadas de turbidez propiciam o aumento de grupos microbianos (CETESB, 2009; MIZUTARI *et al.*, 2009),

podendo diminuir a taxa fotossintética de plantas aquáticas do local. O parâmetro, portanto, influencia diretamente nos organismos biológicos aquáticos.

Desta forma, as oscilações dos valores podem ser explicadas pela lixiviação de partículas orgânicas de origem externa, advindas muitas vezes pelo processo de erosão, o que é característico na área de estudo, bem como pelo aumento do volume de água no próprio corpo d'água, fazendo com que partículas de silte, areia e argila inseridos no leito desses corpos hídricos movam-se de modo a propiciar o aumento dos valores de turbidez (SANTOS; MOREIRA; ROCHA, 2013).

Gráfico 3: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada da cor da água. Análise efetuada por fotocolorímetro Alafakit NCM/SH 90275020.

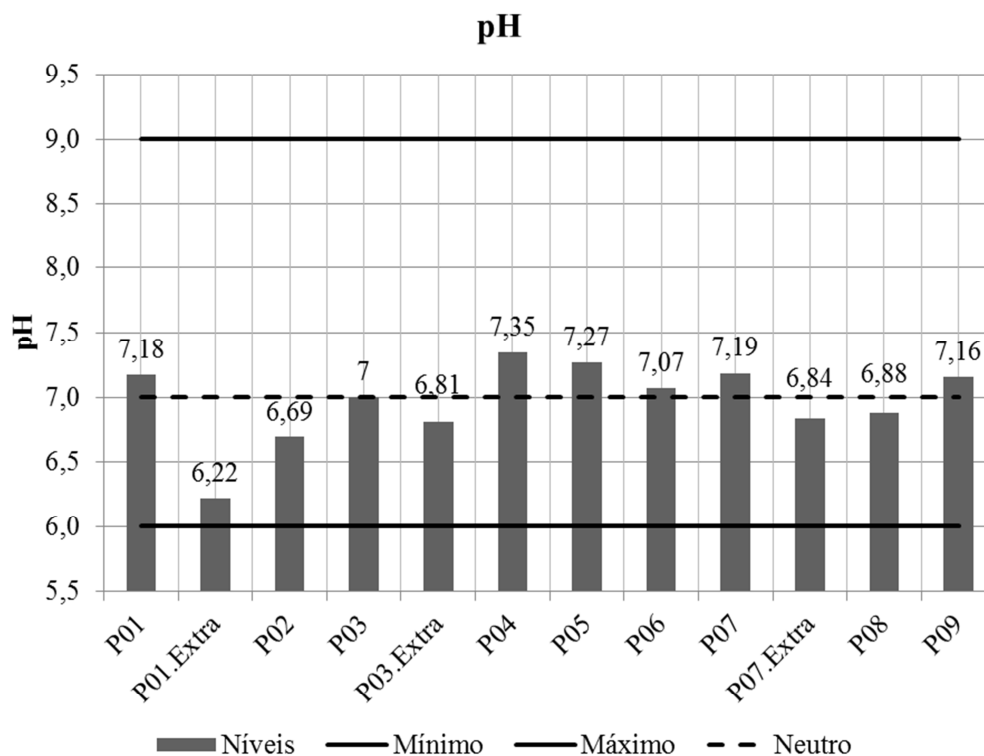


Somente o ponto 9, está de acordo com o valor de referência de até 75 mg Pt/L, para o parâmetro cor (Gráfico 3). Esse ponto está situado antes do início da área de atividade garimpeira, o que explica o baixo valor, uma vez que o segmento do rio não está diretamente afetado pela ação antrópica. Esse parâmetro é sempre analisado em comparação com os resultados obtidos para turbidez, já que a cor de um rio depende da quantidade de sólidos dissolvidos, colóides orgânicos ou inorgânicos, o que confere a coloração da água.

O Ponto 9 tanto para turbidez, quanto para cor apresentam resultados satisfatórios. Os demais pontos, e principalmente aqueles localizados em bacias de retenção (Pontos 1 e 3 Extras) apresentaram, assim como para turbidez, elevados índices, o que pode estar

relacionado com a presença de componentes orgânicos e inorgânicos provenientes dos rejeitos do garimpo, bem como do intenso processo de erosão que transporta partículas diretamente para o corpo d'água.

Gráfico 4: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada de pH. Análises efetuadas por sonda multiparâmetro HI 9828.



Os valores de pH encontrados ao longo do perfil longitudinal do Rio Jequitinhonha, variaram entre 6,22 e 7,35, apresentando desta forma um ambiente com condição de águas ácidas, levemente básicas e valores próximos à neutralidade (Gráfico 4).

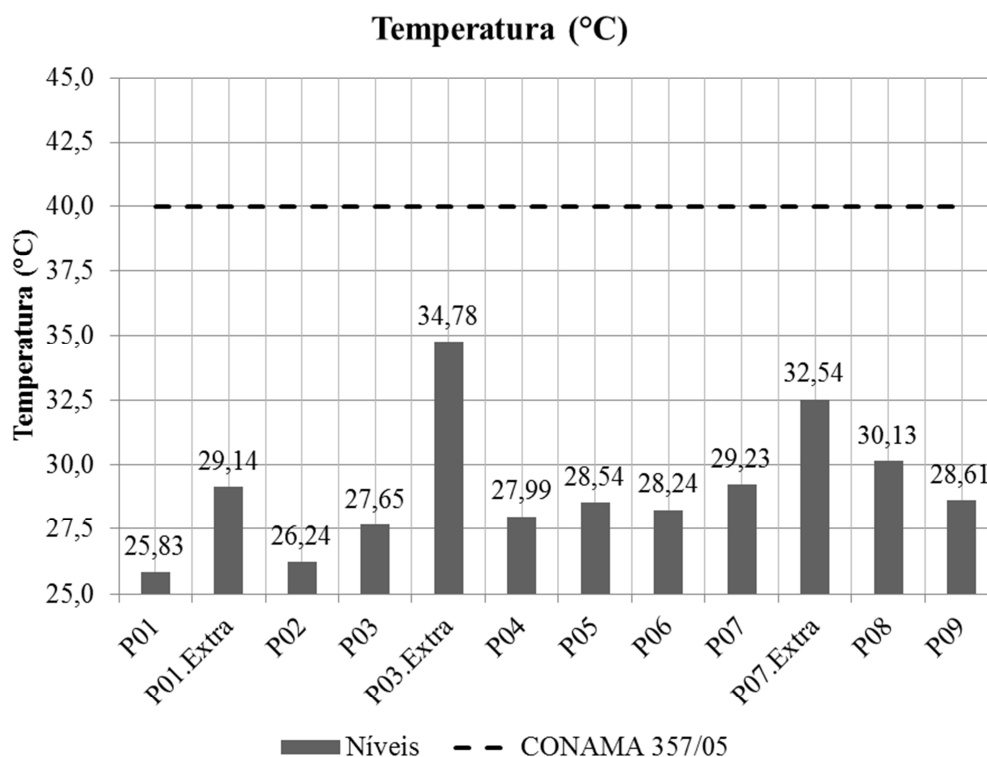
A variação dos valores de pH em um recurso hídrico é determinada pelas cargas das partículas provenientes do processo de intemperismo e por despejos de origem antropogênica, no qual a partir dessas condições, determinam os aspectos dos locais onde a água percola (ARAÚJO, 2006).

A mobilidade dos elementos químicos em solução está diretamente relacionada com o pH. Maia (2004) exemplifica essa característica demonstrando o motivo pelo qual alguns elementos são menos móveis em ambientes alcalinos, quando comparados a ambientes ácidos. Segundo Cabaleiro (2010), os organismos aquáticos estão adaptados às condições de neutralidade e, dessa forma, oscilações bruscas do pH interferem nas taxas de crescimento de

microorganismos e podem também proporcionar o desaparecimento de vários organismos presentes nos corpos d'água.

Apesar da variação, os valores de pH apresentam-se, em todos os níveis, de acordo com a resolução, que estabelece valores padrões entre 6,0 a 9,0. A acidez influencia diretamente os sistemas aquáticos e favorece, segundo Baggio (2008), “para a precipitação dos metais por meio da sua capacidade de atacar os minerais das rochas, solos e sedimentos; induzindo a lixiviação ou solubilizando seus constituintes”, e quando apresenta baixos valores conferindo um caráter ácido à lâmina d'água, favorecem a dissolução dos elementos químicos, mantendo-o na forma iônica. As altas concentrações de ferro e manganês encontradas nesse estudo podem estar relacionadas diretamente com as condições que a acidez condiciona.

Gráfico 5: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada de temperatura. Análise efetuada por sonda multiparâmetro HI 9828.



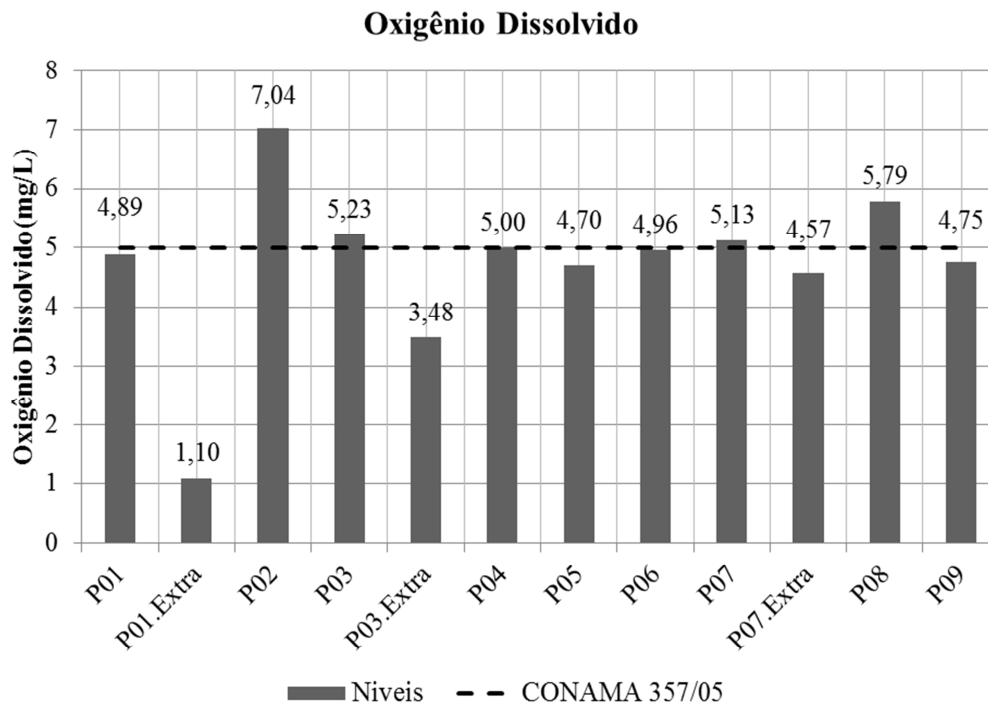
Os valores da temperatura da água variam de acordo com a estação sazonal (incidência solar) e período do dia (horário da coleta) devido ao clima, altitude, cobertura vegetal e latitude (GANDRA, 2012), além da profundidade e taxa de fluxo do corpo hídrico. A temperatura condiciona uma característica importante de controle do sistema aquático, influenciando as variáveis físico-químicas. Segundo Cabaleiro (2010), os

“organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo”.

A temperatura média ao longo do curso d'água foi de 29 °C: todos os pontos analisados foram satisfatórios, por estarem com valores inferiores a 40°C (Gráfico 5). Apesar disso, e de acordo com a temperatura média na estação chuvosa na região de estudo, o valor médio encontrado desse parâmetro pode ser influenciado pela diminuição da presença da mata ciliar ao longo do perfil longitudinal do rio, o que permite a maior incidência dos raios solares na água, e também pela morfologia do canal (baixa profundidade e fluxo lento), que propicia, conseqüentemente, o aumento da temperatura. As bacias de retenção localizadas nos Pontos 1, 3 e 7 Extras apresentaram as maiores taxas, uma vez que encontram-se em áreas onde a água permanece parada.

A oscilação dos valores da temperatura da água, segundo Gandra (2012), pode intervir na constituição química do ambiente, e, assim, como demonstra este trabalho, podem ser verificadas alterações na atuação, disponibilidade e concentração dos elementos químicos no decorrer dos pontos de amostragem. Baggio (2008) afirma também que “temperaturas mais elevadas implicam no desenvolvimento de processos biológicos, acelerando as reações bioquímicas”. Maia (2004) acrescenta que, com a elevação da temperatura da água a solubilidade dos gases dissolvidos decresce e a solubilidade dos minerais cresce.

Gráfico 6: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada de oxigênio dissolvido. Análise efetuada por sonda multiparâmetro HI 9828.



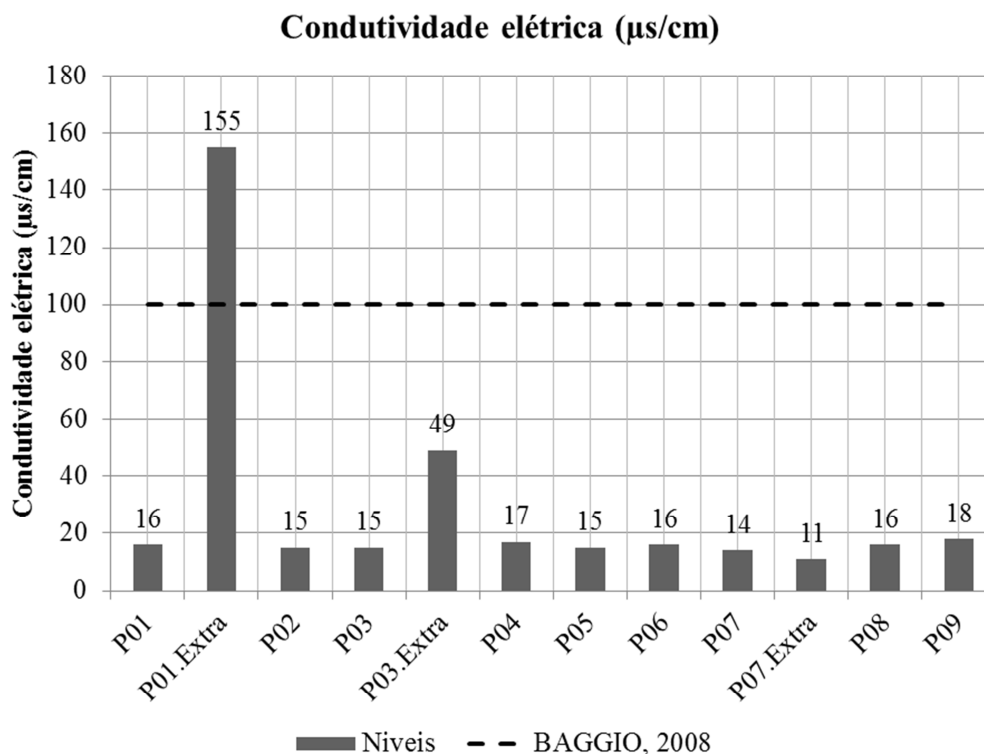
O oxigênio dissolvido apresenta seis pontos com indicadores superiores aos da legislação, cujo valor apropriado deve ser superior a 5,0 mg/L (Gráfico 6). Novamente, os valores em desacordo com a norma ambiental, correspondem as amostras localizadas nas bacias de retenção (Pontos 1, 3 e 7 Extras), seguidos de outros pontos distribuídos ao longo do canal do rio. Nessas condições de baixa concentração de oxigênio dissolvido, há maior quantidade de bactérias aeróbicas e, conseqüentemente, menor ocorrência de organismos vivos na água. As perdas de oxigênio dissolvido são determinadas, segundo Esteves (1998), pela respiração de seres aquáticos, oxidação da matéria orgânica, oxidação de íons metálicos, como manganês e ferro, e perdas para a atmosfera. Os valores de oxigênio dissolvido demonstram a capacidade de um corpo hídrico em manter a vida aquática. A concentração de oxigênio dissolvido na água, segundo Cabaleiro (2010), é influenciada pela temperatura e altitude, e sua dissolução é determinada por fontes como o ar atmosférico, a fotossíntese e a ação dos aeradores.

Além da temperatura, a pressão também influencia diretamente a solubilidade do oxigênio na água: quando há a diminuição da pressão e elevação da temperatura acontece a diminuição da quantidade e da solubilidade de oxigênio na água (BUCCI *et al.*, 2015). Essa relação pôde ser observada com o resultado das análises físico-químicas, uma vez que os

pontos de amostragem com os maiores valores de temperatura são os que apresentaram menores valores de oxigênio dissolvido (Pontos 1, 3 e 7 Extras).

Ribeiro (2010) observa que “em um primeiro momento, o OD indica a saúde dos corpos hídricos em relação à vida aquática, no entanto, altos teores de OD nem sempre estão relacionados ao bom padrão de qualidade da água”, uma vez que em “ambientes contaminados por metais pesados, a morte dos organismos e a consequente diminuição da demanda pelo oxigênio levam a um aumento do OD associado à contaminação” (FELLENBERG 1980, *apud* RIBEIRO, 2010). A variação entre os pontos analisados indica que as baixas concentrações de OD podem comprometer a sobrevivência dos organismos aquáticos, mas as altas concentrações podem estar relacionadas tanto com a morte destes organismos, bem como com a presença de altos índices de ferro (como nos Pontos 2 e 8) no rio, que foram identificados por meio análises químicas.

Gráfico 7: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada de condutividade elétrica. Análise efetuada por sonda multiparâmetro HI 9828.



A condutividade elétrica é um parâmetro que indica a concentração total de sólidos e íons dissolvidos na água, e por meio dele é possível constatar alterações na composição do corpo hídrico (GANDRA, 2012). Quanto mais sólidos dissolvidos são

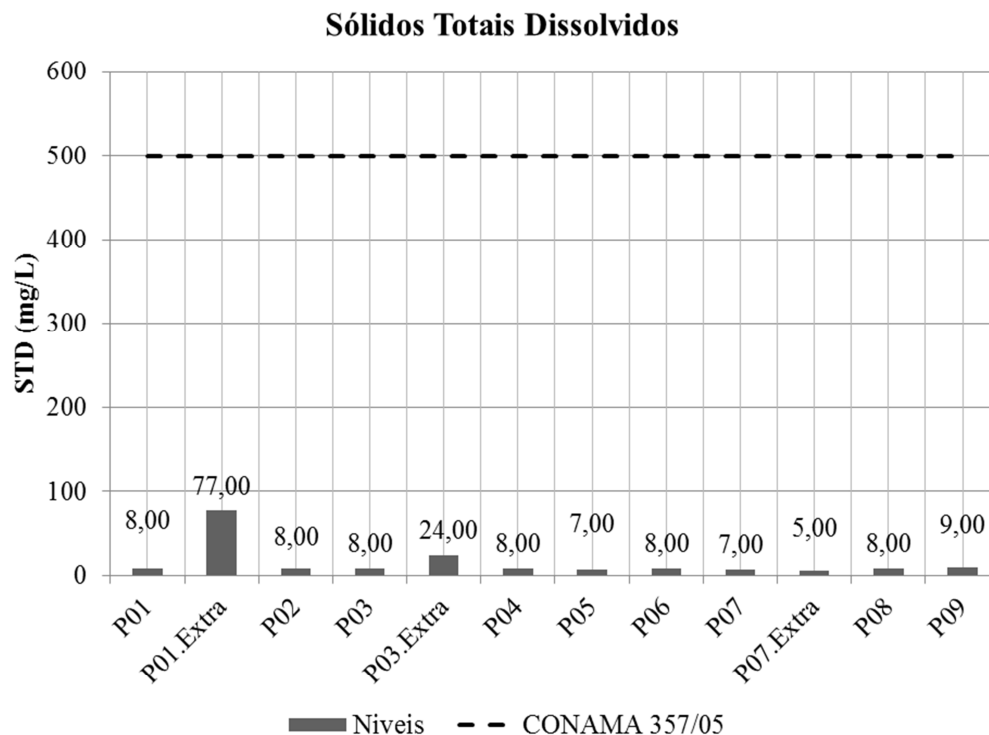
encontrados na água, maior será a condutividade elétrica e as características corrosivas da água (CERETTA, 2004).

Cabaleiro (2010) afirma que apesar de o parâmetro não ter valor limite estabelecido pela legislação ambiental vigente, sua identificação é importante, mesmo não determinando especificamente quais íons estão presentes na amostra, uma vez que a condutividade elétrica “contribui para reconhecimento de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos etc” (CABALEIRO, 2010).

Os valores de condutividade elétrica da água podem oscilar de acordo com a temperatura e a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas (GURGEL, 2007), e também pelas características litológicas do local. Nesta relação, à medida que cresce a concentração iônica, crescem também os valores da condutividade e da temperatura da solução (MIRANDA, 2007).

A condutividade elétrica diverge, em apenas um ponto, do valor máximo de referência recomendado por Baggio (2008) de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Gráfico 7). O local relacionado com o alto índice de condutividade elétrica ocorreu no Ponto 1 Extra (bacia de retenção), que obteve também altos valores para os parâmetros temperatura, turbidez, cor, acidez, sólidos totais dissolvidos e baixa concentração de oxigênio dissolvido. A maior concentração de íons na água provenientes de substâncias dissolvidas, que acarreta na maior capacidade de conduzir corrente elétrica, pode indicar modificações na composição da coluna d'água e, também, na identificação de fontes de contaminação, influenciado nessa área pelo descarte dos rejeitos do garimpo.

Gráfico 8: Resultado físico-químico, com apresentação detalhada de sólidos totais dissolvidos. Análise efetuada por sonda multiparâmetro HI 9828.



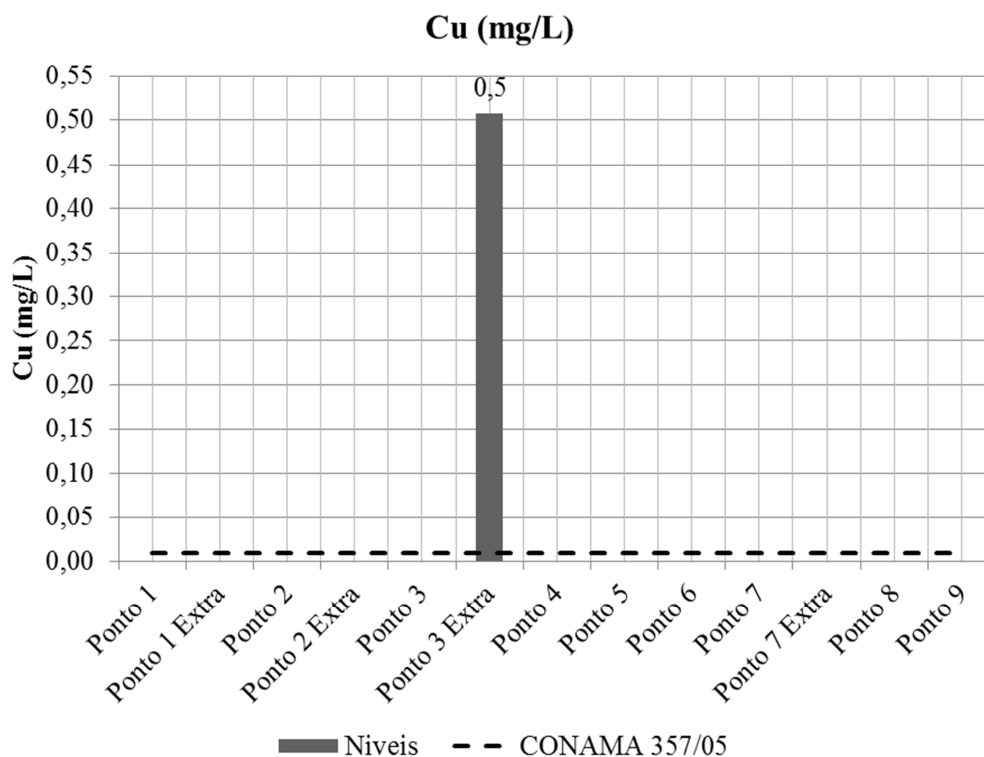
Com exceção para os gases dissolvidos, contribuem para a presença de carga de sólidos nos corpos hídricos, todas as impurezas da água (CABALEIRO, 2010). Todos os pontos para STD estão dentro do limite estabelecido pela legislação, que define concentrações acima de 500 mg/L insatisfatórias (Gráfico 8). O parâmetro está intimamente relacionado com a condutividade elétrica, já que esta apresentou somente 1 ponto em desacordo com a legislação (Ponto 1 Extra), como mencionado acima, os STD não apresentaram significativas alterações nos pontos amostrados (maior valor encontrado foi também no Ponto 1 Extra). Hermes; Silva (2004) afirmam para a importância do monitoramento dos STD em bacias hidrográficas, por identificar a propensão de aumento da erosão.

Tabela 2: Relação dos valores de todos os parâmetros físico-químicos analisados com os pontos de amostragem e com os valores referência do CONAMA 357/05 e Baggio (2008).

Lista de Parâmetros Físico-Químicos							
PONTOS	Turbidez (UNT)	Cor	pH	Condutividade elétrica (µs/cm)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Temperatura (°C)	Sólidos Totais Dissolvidos STD (mg/L)
P01	60,40	462,23	7,18	16,00	4,89	25,83	8,00
P02	33,70	203,82	6,69	15,00	7,04	26,24	8,00
P03	182,00	1000,00	7,00	15,00	5,23	27,65	8,00
P04	101,00	776,82	7,35	17,00	5,00	27,99	8,00
P05	13,50	181,22	7,27	15,00	4,70	28,54	7,00
P06	117,00	871,76	7,07	16,00	4,96	28,24	8,00
P07	250,00	1000,00	7,19	14,00	5,13	29,23	7,00
P08	4,67	100,82	6,88	16,00	5,79	30,13	8,00
P09	5,43	59,02	7,16	18,00	4,75	28,61	9,00
Média	85,30	517,30	7,09	15,78	5,28	28,05	7,89
P01.Extra	317,00	1000,00	6,22	155,00	1,10	29,14	77,00
P03.Extra	1000,00	1000,00	6,81	49,00	3,48	34,78	24,00
P07.Extra	49,70	368,06	6,84	11,00	4,57	32,54	5,00
Média (Extras)	455,57	789,35	6,62	71,67	3,05	32,15	35,33
Mínimo	4,67	59,02	6,69	14,00	4,70	25,83	7,00
Máximo	250,00	1000,00	7,35	18,00	7,04	30,13	9,00
CONAMA 357/05	100,00	75,00	6,0 a 9,0	100,00*	5,00	40,00	500,00

Os gráficos 9 a 12 a seguir apresentam os resultados das análises químicas. Dentre os elementos analisados não foram encontrados valores em todos os pontos amostrados para cádmio, níquel e chumbo. Apesar de as leituras com o espectrofotômetro de absorção atômica em chama não ter quantificado esses elementos, devido ao limite de detecção do equipamento, não significa que não há a ocorrência de concentrações traço destes metais nas amostras coletadas.

Gráfico 9: Resultado químico, com apresentação detalhada para cobre. Análise efetuada pelo espectrofotômetro de absorção atômica em chama.



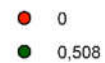
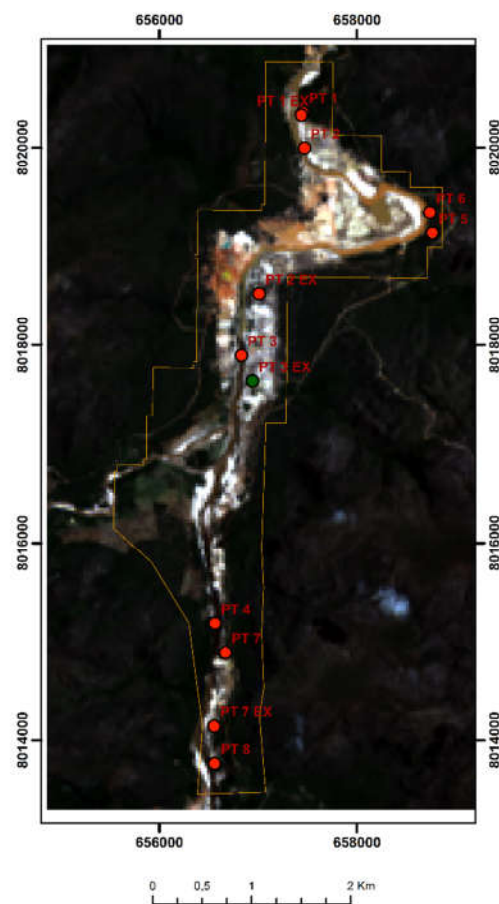
O teor de cobre foi alto para o ponto 3 Extra com valor muito acima do estabelecido pelo CONAMA 357/05, que recomenda a concentração máxima de 0,009 mg/L (Gráfico 9). O único valor discrepante pode ser fruto de uma contaminação localizada, provenientes dos rejeitos do garimpo, por ser uma bacia de retenção que inclusive também apresentou valores acima do preconizado pela legislação em vários parâmetros físico-químicos (Mapa 4). Nas águas superficiais, a concentração do cobre é menor devido à adsorção de minerais de argila, óxidos de ferro e resíduos orgânicos (OLIVEIRA, 2007).

Este resultado alerta para que se tenha um maior monitoramento da bacia de retenção, uma vez que se este compartimento se romper, os rejeitos serão transportados diretamente para o leito do rio, o que pode comprometer a qualidade das águas, já que

condição de acidez predominante neste corpo d'água favorece a adsorção de Cu. Quando em contato com o ser humano, o cobre, por meio das diferentes vias de exposição, pode causar desde dor de cabeça, náuseas e diarreia, até graves danos aos rins.

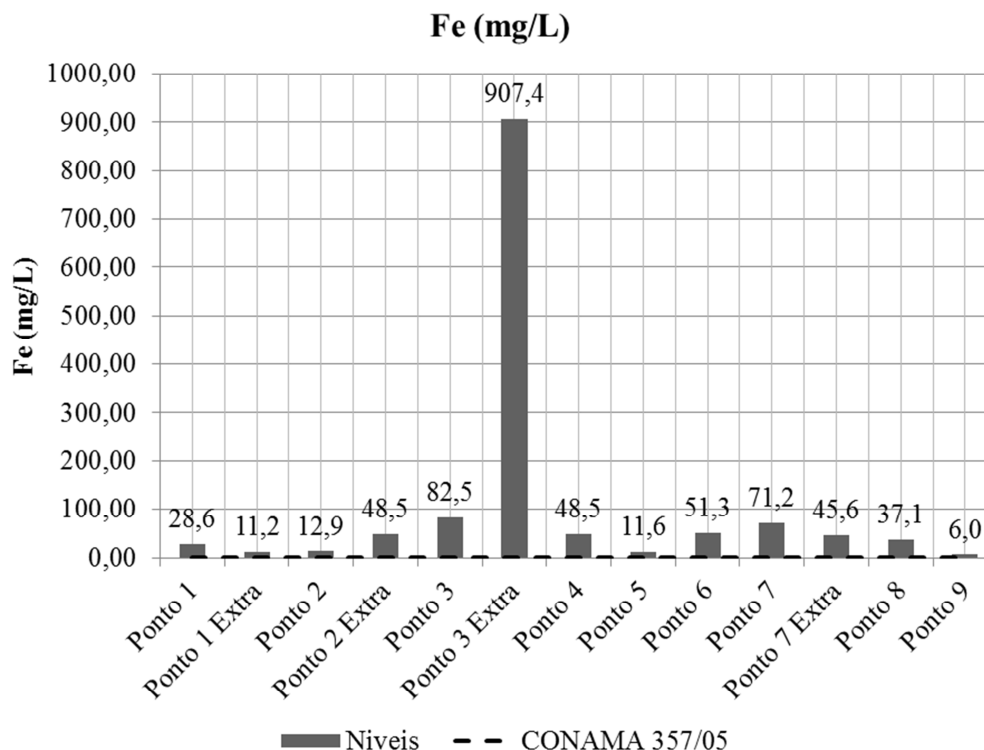
Mapa 4: Concentração do Cobre nos pontos de amostragem.

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE COBRE NOS PONTOS DE AMOSTRAGEM



Datum: SIRGAS 2000
 IMAGEM LANDSAT 8 - Passagem do satélite 23/12/2016
 Autores: Lúcio do Carmo Moura e Mariana de Oliveira Freitas

Gráfico 10: Resultado químico, com apresentação detalhada para ferro. Análise efetuada pelo espectrofotômetro de absorção atômica em chama.



A partir das condições físico-químicas do ambiente, o ferro pode estar na forma oxidada e/ou reduzida na água (GANDRA, 2012). De acordo com Corrêa (2014), seus compostos são encontrados, mesmo que em pequenos valores, em todos os corpos hídricos.

Devido à complexidade da geoquímica do ferro no ambiente, esta é definida pela variedade de seus estados de oxidação (CORRÊA, 2014). Acrescenta, ainda, que o ferro é proveniente da “dissolução de compostos ferrosos de solos arenosos, terrenos de aluvião ou pântanos”, e que nestas classes de solos, “a matéria orgânica se decompõe consumindo oxigênio e produzindo gás carbônico, o qual solubiliza compostos de ferro” (CORRÊA, 2014).

Baixas concentrações de oxigênio e valores de pH abaixo de 7,5, propiciam a redução de ferro (CORRÊA, 2014). Neste trabalho, foram identificadas estas características nos pontos 1, 1 Extra, 3 Extra, 5, 6, 7 Extra e 9. Esta condição reduzida do ferro, segundo Esteves (1988), torna-se solúvel sob a forma de bicarbonato ou como íons Fe^{3+} em equilíbrio com o $\text{Fe}(\text{OH})_3$ após sua oxidação. Apesar de “muitos dos sais férricos e ferrosos sejam altamente solúveis em água, os íons ferrosos, em águas superficiais, são oxidados a condições férricas e formam hidróxidos insolúveis”, e quando precipitados “manifestam-se na forma de

gel ou flocos, podendo, quando suspensos na água, exercer efeitos nocivos sobre peixes e outras vidas aquáticas” (CORRÊA, 2014).

O teor de ferro, está em desacordo com a legislação ambiental em todos os pontos analisados, que estabelece valor de máximo de 0,3 mg/L (Gráfico 10). A concentração do cátion em corpos d’água está em desacordo com o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 na maior parte do território mineiro (OLIVEIRA, 2007). Mas, apesar da característica natural, os valores identificados nesta pesquisa são extremamente elevados e indicam a intensa interferência de atividade garimpeira. A maior concentração encontrada foi no Ponto 3 Extra (bacia de retenção), e dentre os motivos para a ocorrência de ferro nesse local, está a interferência que os parâmetros físico-químicos exercem sobre este ponto (Mapa 5).

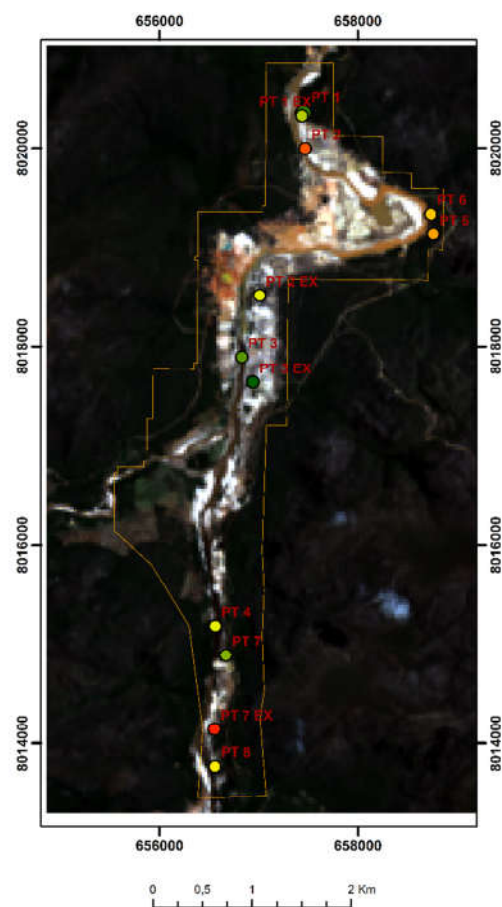
Apesar disso, os demais pontos também apresentaram altas concentrações de ferro que podem ser interpretadas devido ao processo de lixiviação provenientes das características litológicas da área, do processo de erosão da cobertura pedológica localizada próxima às drenagens, que contribuem para o acréscimo do metal na água, principalmente no período de estação chuvosa, e a interferência dos parâmetros físico-químicos para maior disponibilidade do metal.

Além dos fatores naturais, os maiores índices de Fe estão fortemente associados com os rejeitos gerados a partir de todas as etapas do processo de garimpagem, e também pela atividade revolver grandes quantidades de solos que podem contribuir para liberação de ferro dos solos diretamente para os corpos d’água. Esta análise recomenda um maior monitoramento das bacias de retenção, uma vez que se este compartimento se romper, os rejeitos serão carregados diretamente para o leito do rio. Conforme ressalta Baggio (2008), a legislação ambiental vigente “não leva em consideração as variáveis litológicas presentes nos compartimentos do meio físico”.

Ferro quando em contato com o corpo humano por meio das diferentes vias de exposição, provoca no organismo hemocromatose (SELINUS, 2004), que significa o acúmulo desse metal em alguns órgãos como o fígado, o que compromete o funcionamento de suas células.

Mapa 5: Concentração de Ferro nos pontos de amostragem.

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE FERRO NOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

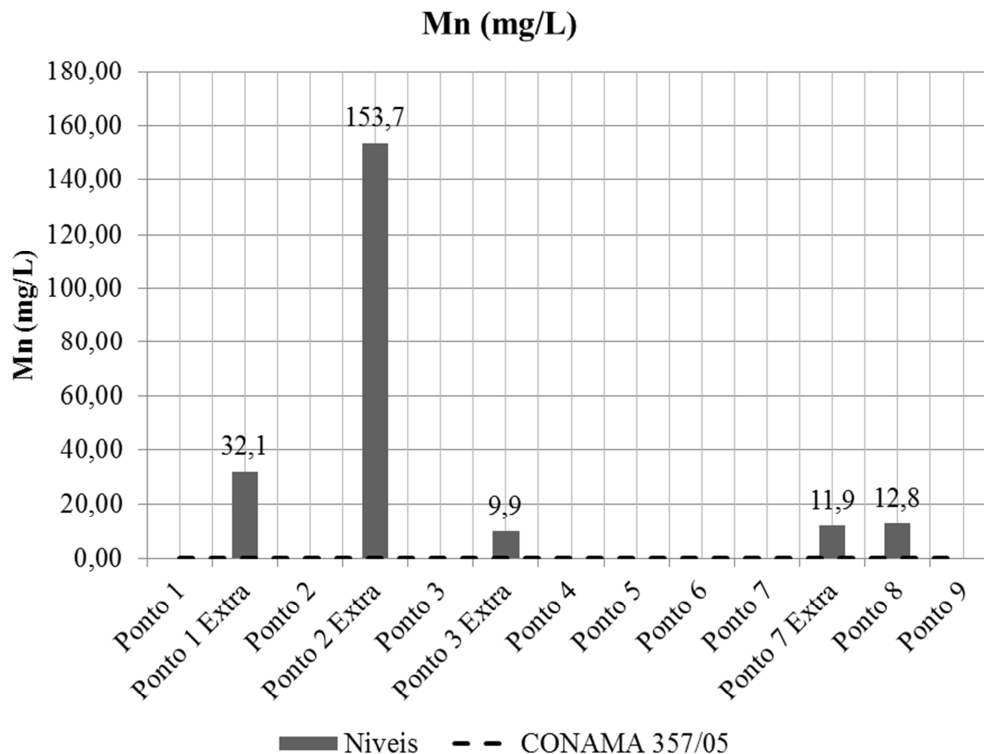


- 5,953
- 11,244
- 11,622
- 12,913
- 28,63
- 37,134
- 45,638
- 48,472
- 51,307
- 71,15
- 82,488
- 907,37



Datum: SIRGAS 2000
 IMAGEM LANDSAT 8 - Passagem do satélite 23/12/2016
 Autores: Lúcio do Carmo Moura e Mariana de Oliveira Freitas

Gráfico 11: Resultado químico, com apresentação detalhada para manganês. Análise efetuada pelo espectrofotômetro de absorção atômica em chama.



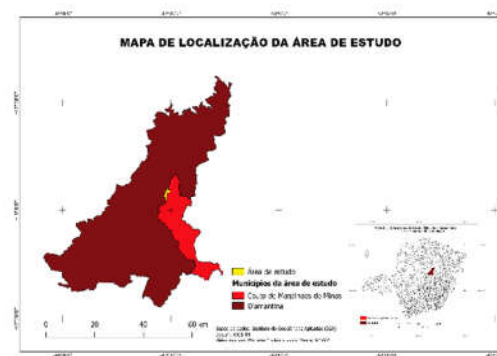
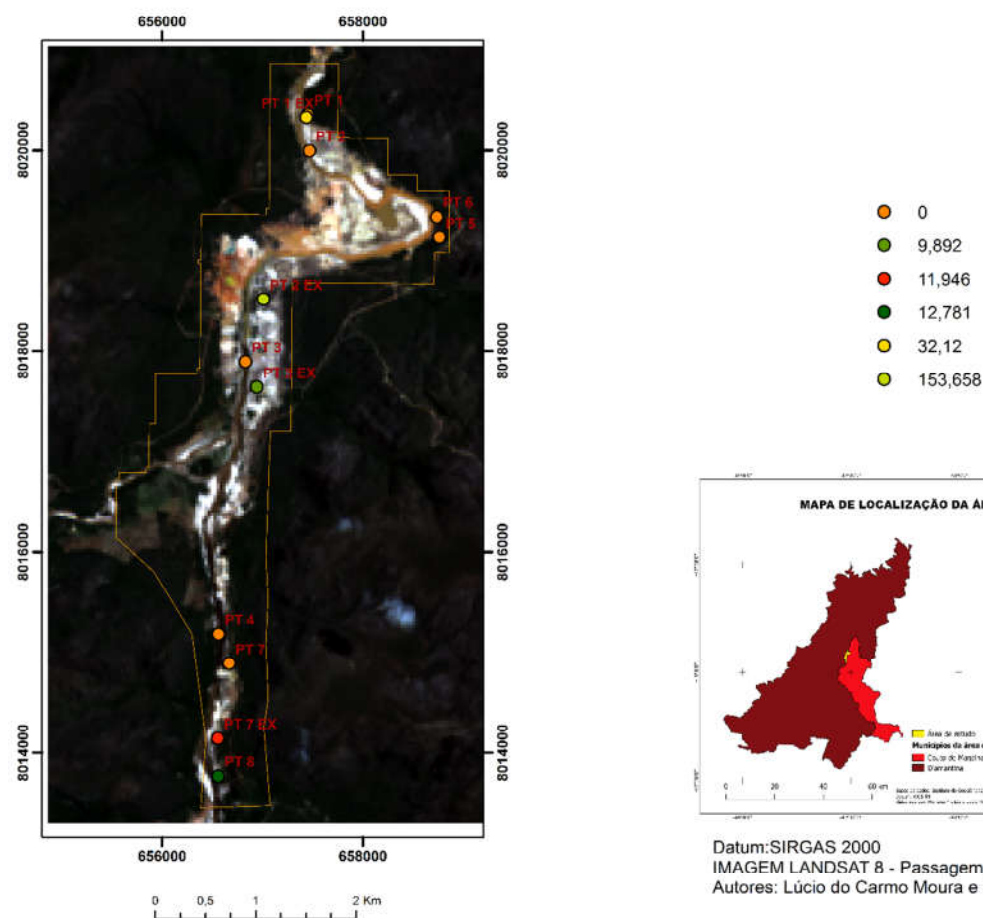
O manganês apresentou valores acima de 0,1 mg/L, limite máximo preconizado pela normativa, nos pontos 1, 2, 3 e 7 Extra, e 8; nos demais os teores ficaram abaixo do limite de detecção (Gráfico 11). Suas maiores concentrações foram encontradas nas bacias de retenção e em um ponto onde há a presença de matéria inorgânica (Mapa 6). Assim como o ferro, a concentração do manganês na água está acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 em quase todo o território mineiro (OLIVEIRA, 2007). Porém, os altos valores encontrados estão relacionados com a influência da atividade garimpeira.

Frequentemente, o Mn é encontrado em associação com o ferro, a sua ocorrência deve-se aos fatores naturais, a partir da composição das unidades litológicas típicas da área, principalmente no Ponto 8, bem como aos fatores antrópicos, por meio dos efluentes do garimpo lançados diretamente nas bacias de retenção. Baggio (2008) afirma que a normativa ambiental vigente “não leva em consideração as variáveis litológicas presentes nos compartimentos do meio físico”.

Portanto, este resultado recomenda para um maior monitoramento dessas bacias de retenção, uma vez que se o compartimento se romper, os rejeitos serão transportados diretamente para a drenagem do rio. O Mn quando em contato com o corpo humano por meio

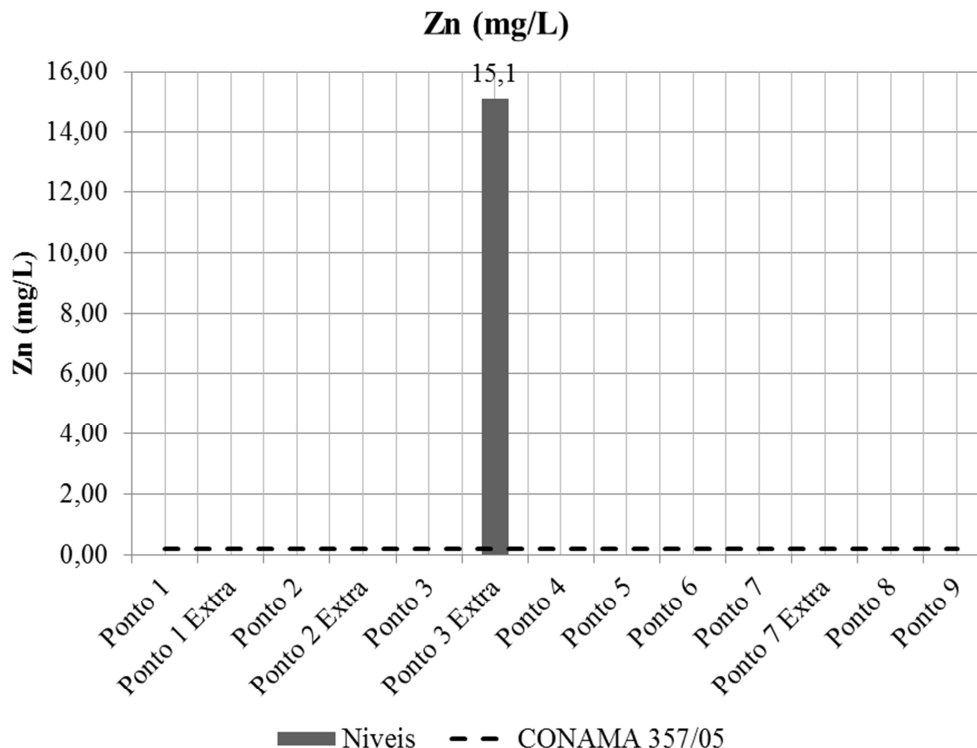
das diferentes vias de exposição, pode ocasionar o desenvolvimento de carcinomas e a má formação congênita.

Mapa 6: Concentração de Manganês nos pontos de amostragem.
VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS NOS PONTOS DE AMOSTRAGEM



Datum: SIRGAS 2000
 IMAGEM LANDSAT 8 - Passagem do satélite 23/12/2016
 Autores: Lúcio do Carmo Moura e Mariana de Oliveira Freitas

Gráfico 12: Resultado químico, com apresentação detalhada para zinco. Análise efetuada pelo espectrofotômetro de absorção atômica em chama.



Somente no ponto 3 Extra o zinco excede o valor determinado de 0,18 mg/L, para os demais pontos, os teores de zinco não foram detectados (Gráfico 12). O único valor encontrado pode ser entendido como contaminação pontual e está localizado em uma bacia de retenção (Ponto 3 Extra) (Mapa 7). Este ponto apresentou valores acima do preconizado pela legislação em vários parâmetros físico-químicos e em todos os elementos químicos analisados nesse estudo, o que determina a influência dos parâmetros físico-químicos na disponibilidade dos metais e o potencial de contaminação que os rejeitos do garimpo exercem sobre o ambiente.

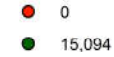
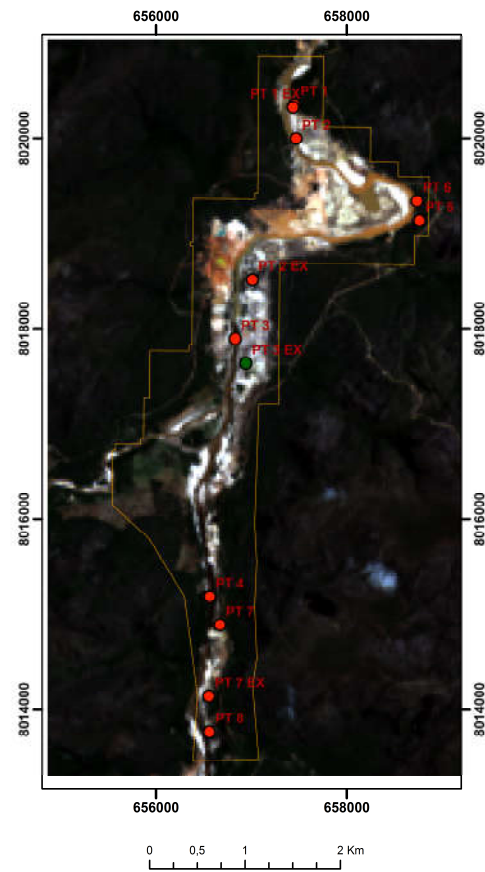
Segundo Baggio (2008), a legislação ambiental vigente “não leva em consideração as variáveis litológicas presentes nos compartimentos do meio físico”, o que compromete a interpretação e a comparação dos resultados, uma vez que existem elementos que ocorrem naturalmente, em rochas, na forma de sulfetos, e nos solos, como é o caso do zinco (HADDAD, 2007).

Esse resultado indica a importância de um maior monitoramento da bacia de retenção, uma vez que se o compartimento se romper, os rejeitos serão escoados diretamente para o leito do rio, o que pode alterar a qualidade das águas. O Zinco quando em contato com o corpo humano por meio das diferentes vias de exposição, pode ocasionar fadiga, tontura

(HESS e SCHMID, 2002 *apud* SARWAR *et al.*, 2016), febre e diarreia (SELINUS, 2004) e irritações à pele.

Mapa 7: Concentração de Zinco nos pontos de amostragem.

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE ZINCO NOS PONTOS DE AMOSTRAGEM



Datum: SIRGAS 2000
 IMAGEM LANDSAT 8 - Passagem do satélite 23/12/2016
 Autores: Lúcio do Carmo Moura e Mariana de Oliveira Freitas

Tabela 3: Relação dos valores de todos os parâmetros químicos analisados com os pontos de amostragem e com os valores referência do CONAMA 357/05.

Determinação dos valores de metais na água							
Pontos	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
Ponto 1	0,000	0,000	28,630	0,000	0,000	0,000	0,000
Ponto 2	0,000	0,000	12,913	0,000	0,000	0,000	0,000
Ponto 3	0,000	0,000	82,488	0,000	0,000	0,000	0,000
Ponto 4	0,000	0,000	48,472	0,000	0,000	0,000	0,000
Ponto 5	0,000	0,000	11,622	0,000	0,000	0,000	0,000
Ponto 6	0,000	0,000	51,307	0,000	0,000	0,000	0,000
Ponto 7	0,000	0,000	71,150	0,000	0,000	0,000	0,000
Ponto 8	0,000	0,000	37,134	12,781	0,000	0,000	0,000
Ponto 9	0,000	0,000	5,953	0,000	0,000	0,000	0,000
Média	0,000	0,000	38,852	1,420	0,000	0,000	0,000
Ponto 1 Extra	0,000	0,000	11,244	32,120	0,000	0,000	0,000
Ponto 2 Extra	0,000	0,000	48,472	153,658	0,000	0,000	0,000
Ponto 3 Extra	0,000	0,508	907,370	9,892	0,000	0,000	15,094
Ponto 7 Extra	0,000	0,000	45,638	11,946	0,000	0,000	0,000
Média (Extras)	0,000	0,127	253, 181	51, 904	0,000	0,000	3,774
CONAMA 357/05 -mg/L	0,001	0,009	0,300	0,100	0,025	0,010	0,180

7 CONSIDERAÇÕES

Os resultados apresentados nesse trabalho estabeleceram que as concentrações dos elementos Cu, Fe, Mn e Zn encontradas, para alguns pontos, estão muito acima do permitido pela legislação, o que pode apresentar um risco direto à saúde dos garimpeiros, e indireto para a população localizada à jusante do rio. Os valores dos parâmetros físico-químicos cor, turbidez, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido estão bem acima do preconizado pela normativa, e pode ocasionar prejuízos para os organismos aquáticos e flora local e na maior disponibilidade dos elementos químicos identificados.

Apesar de as concentrações dos metais estarem relacionadas também com a unidade litológica e com os aspectos pedológicos, são necessários estudos mais específicos das características naturais da área de estudo para maior interpretação e efetividade dos resultados encontrados. Dentre as amostras coletadas, os pontos que apresentaram os maiores valores dos elementos químicos foram aqueles que estavam localizados nas bacias de retenção. Estes dados sustentam que os rejeitos provenientes do processo de garimpagem contribuem significativamente para a contaminação da área e recomendam um rigoroso monitoramento e a segurança da manutenção do compartimento, uma vez que se rompidas (principalmente em épocas de chuvas), os rejeitos carregados diretamente para o leito do rio, possibilitam a dispersão dos contaminantes por toda a área.

Os valores e as correlações apresentadas apontam que o intemperismo, o processo de erosão, o escoamento superficial e as condições de uso e ocupação da bacia de drenagem influenciam diretamente o ambiente aquático. As concentrações de elementos químicos encontradas em um corpo d'água não são passíveis de serem removidas, e, ao propiciar o acúmulo constante neste sistema ambiental, apresentam efeitos adversos sobre os ecossistemas, caso a introdução destes metais não seja inspecionada.

A partir dos resultados acima, alerta-se para o risco que altas concentrações dos metais podem comprometer a saúde humana por meio das diferentes vias de exposição dos garimpeiros (contato físico, inalação, exposição ocular e ingestão), que não fazem uso de Equipamento de Proteção Individual (EPI), estando em contato direto com todas as substâncias e objetos utilizados durante o processo de extração das pedras preciosas.

O garimpo foi responsável no decorrer dos anos pelas alterações no ambiente, dentre as mais relevantes pode-se citar:

- Mudança na paisagem do local provocada pelo processo de abertura das catas e bacias de retenção;
- Desnível topográfico do terreno;
- Aumento do processo de erosão, e assoreamento do leito do Rio Jequitinhonha e dos cursos d'água adjacentes, devido à retirada da vegetação original para a abertura das catas;
- Modificação da drenagem original do Rio Jequitinhonha, devido principalmente às operações de dragagem anteriormente realizadas, abertura das catas e retirada da água para lavagem do material;
- Impactos nos habitats da fauna local e retirada da flora local.

Os diversos processos que controlam a qualidade da água de um recurso hídrico fazem parte de um equilíbrio. Quando acontecem modificações em uma bacia hidrográfica, estas podem ocasionar em alterações significativas, sendo as características físicas e químicas da água de um recurso d'água indicadores da “saúde” dos sistemas naturais e do ser humano. Apesar de a atividade econômica comprometer negativamente a qualidade da água, a contaminação hídrica causada pelo garimpo tem sido pouco estudada, o que reconhece este trabalho, a partir de seus objetivos, uma pesquisa inédita na área de pesquisa.

Diante de todos os resultados descritos acima, recomenda-se que os recursos hídricos, as áreas no entorno do garimpo e as condições de uso da bacia de rejeitos sejam monitoradas periodicamente pelos órgãos responsáveis, e que seja ainda realizado um plano de recuperação de áreas degradadas, uma vez que a retirada da vegetação para abertura de catas e o revolvimento do solo comprometeram toda a dinâmica ambiental.

A base para este tipo de pesquisa aqui é traduzida como a necessidade de ações interdisciplinares, que envolvam estudos relativos à saúde, sociedade e ambiente, reforçando desta maneira, a contribuição da geoquímica ambiental, geologia médica e geografia da saúde, bem como dos instrumentos computacionais de apoio para a espacialização, interpretação e exibição dos resultados obtidos.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA), 2013. **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. 2. ed., Brasília, 2013, 157 p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA), 2011. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Brasília, 2011, 327 p.

ANJOS, J. A. S. A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: O caso da Plumbum de Santo Amaro da Purificação/BA**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2003, 238 p.

ARAÚJO, A. D. **Avaliação da qualidade geoquímica ambiental da água superficial do córrego Quatro Vinténs no município de Diamantina-MG**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2013, 54 p.

ARAÚJO, P.R. **Interação hidrogeoquímica e geografia da saúde na bacia hidrográfica do Ribeirão Lindóia, Zona Norte de Londrina-PR**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina, 2006, 138 p.

ARAUJO, P. R.; PINESE, J. P. P. **Geoambientes, elementos químicos e saúde humana**. In: YAMAKI, H.; PINESE, J. P. P.; ASARI, A. Y.; BARROS, M. V. Geografia e meio ambiente: Reflexões e proposições. Londrina: Midiograf II: Edições Humanidades, 2006.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. Planaltina: EMBRAPA, 1993.

AUGUSTO, L. G. da S. Teoria e Prática na Ação do Sanitarista: a questão da saúde e do meio ambiente. **Cadernos de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p. 9-25, 2005.

BACCI, D. L. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. Aspectos e impactos ambientais de pedra em área urbana. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto v. 59, n. 1, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 29 jan. 2017.

BAGGIO, H. **Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em água superficial e sedimento de corrente na Bacia do Rio do Formoso, município de Buritizeiro, MG**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008, 234 p.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARCELLOS, C.; COUTINHO, K.; PINA, M. F.; MAGALHÃES, M. M. A. E.; PAOLA, J. C. M. D.; SANTOS, S. M. Inter-relacionamento de dados ambientais e de saúde: Análise de riscos à saúde aplicada ao abastecimento de água no Rio de Janeiro utilizando sistemas de informações geográficas. **Cadernos de Saúde Pública**, v.14, n. 1, p. 597-605, 1998.

BARCELLOS, C.; MACHADO, J. H. M. A Organização espacial condiciona as relações entre ambiente e saúde: O Exemplo da exposição ao Mercúrio em uma fábrica de lâmpadas fluorescentes. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 103-113, 1998.

BAYO, M. A. A. **Indicador de Calidad de las Aguas**. TAU Consultoria Ambiental. 1999.

BESERRA, E. P.; ALVES, M. D. S.; PINHEIRO, P. N. C.; VIEIRA, N. F. C. Educação ambiental e enfermagem: uma integração necessária. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 63, n. 5, p. 848-852, 2010.

BONUMÁ, N. B. **Avaliação da qualidade da água sob impacto das atividades de implantação de garimpo no município de São Martinho da Serra**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2006, 107 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. **Agenda nacional de prioridades de pesquisa em saúde** / Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Ciência e Tecnologia. – 2. ed., 3. reimpr. – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2011, 68 p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Semana Nacional de Ciência e Tecnologia. **Geologia Médica – Uma nova Ciência**, 2005. Disponível em: <<http://semanact.mcti.gov.br>>. Acesso em: 23 jan. 2017.

BUCCI, M. M. H. S.; DELGADO, F. E. F.; SANTOS, C. S.; OLIVEIRA, L. F. C. Análise de metais, agrotóxicos, parâmetros físico-químicos e microbiológicos nas águas da Represa Dr. João Penido, Juiz de Fora, MG. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 804 – 824, out. /dez. 2015.

CABALEIRO, S. M. O. L. **Investigação geoquímica como instrumento de gestão ambiental – sub-bacia do córrego Sarandi, Minas Gerais**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010, 185 p.

CARR, G.M., NEARY, J.P. **Water quality for ecosystem and human health**, 2nd Edition, 2008. United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System. Disponível em: <http://www.gemswater.org/publications/pdfs/water_quality_human_health.pdf>. Acesso em 24 jan. 2017.

CERETTA, M. C. **Avaliação dos aspectos da qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Arroia Cadena – município de Santa Maria- RS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2004, 154 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB), 2007. **Qualidade das águas**. São Paulo: Disponível em: <<http://www.cetesb.gov.br>>. Acesso em 27 jan. 2017.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB), 2009. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/125-variaveis-de-qualidade-dasaguas-e-dos-sedimentos>>. Acesso em: 28 jan. 2017.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CRPM), 2002. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em 25 jan. 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), 2005. **Resolução CONAMA nº 357, 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em 21 jan. 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), 1986. **Resolução do Conama nº. 001 de 23 de janeiro de 1986**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

COOPERGADI. **Parecer jurídico sobre o Rio Jequitinhonha sob a vigência da Lei Estadual Mineira 15.082/2004**. Diamantina, 2013.

CORRÊA, J. M. **Metais pesados em água, sedimentos e peixes no Rio Maranguapinho, região metropolitana de Fortaleza, Ceará**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará, 2014, 138 p.

CORRÊA, T. L. **Bioacumulação de metais pesados em plantas nativas a partir de suas disponibilidades em rochas e sedimentos: o efeito na cadeia trófica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2006, 143 p.

COSTA, F. N. Campos rupestres. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. A. O. (Org.s). **Serra do Espinhaço Meridional: paisagens e ambientes**. O Lutador, 2005, p. 271.

CZERESNIA, D.; FREITAS, C. M. (Orgs.) **Promoção da saúde: conceitos, reflexões, tendências**. 2a. ed. revisada. Rio de Janeiro, Editora Fiocruz, 2009, 229 p.

DORNFELD, C. B. **Utilização de análises limnológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para diagnóstico ambiental no reservatório de Salto Grande (Americana – SP)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2002, 149 p.

DUFFOS, J. H. Heavy metals – A meaningless term. **Chemistry International**, v. 23, n. 6, 2001.

ESPÍNDOLA, E. L. G. **A bacia hidrográfica do Córrego Monjolinho**. RIMA. USP- Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2000.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1988, 574 p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FAZENDA, I. (Org.). **Práticas interdisciplinares na escola**. 9. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

FERREIRA, V. O. **Paisagem, recursos hídricos e desenvolvimento econômico na bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007, 313 p.

FERREIRA, V. O.; ALLAOUA, S. (In)disponibilidade hídrica e subdesenvolvimento socioeconômico em unidades de paisagem da Bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 40, p. 166 – 180, dez. 2011.

FONSECA, M.O. **A atividade dos “garimpos” e a atuação da FEAM no controle ambiental destas áreas no Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <http://umveltprogramme.de/meioambiente99/tema03/fonseca/text.html>>. Acesso em: 24 nov. 2015.

FRAGA, L. M. S. **Análise estratigráfica do Grupo Macaúbas no Domínio Meridional da Serra do Espinhaço, Minas Gerais**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2013, 190 p.

FRAGA, L.M.S. **O Supergrupo Espinhaço e o Grupo Macaúbas no nordeste da Serra do Espinhaço Meridional, região de Domingas-Inhaí, Diamantina, Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 1999, 140 p.

FREITAS, M. B.; ALMEIDA, L. M.; BRILHANTE, O. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 651-660, mai-jun, 2001.

GANDRA, M. F. A. **Qualidade de águas e sedimentos em rios de pequena ordem drenando *Eucalyptus ssp* e cerrado antropizado no Alto e Médio São Francisco e Alto Jequitinhonha, MG**. Dissertação de Mestrado, Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, 2012, 123 p.

GOYER, R. A. **Toxic Effects of Metals**. In: KLAASSEN, C.D. (Ed.). Casarett & Doull's toxicology: The basic science of poisons, 1996, 691-736 p.

GUEDES, J. A. Geoquímica e Meio Ambiente. **Revista Geotemas**, Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, v. 2, n. 1, p. 145-151, 2012.

GURGEL, B. S. **Avaliação de impactos ambientais por estudo geoquímico na bacia do Córrego Rico, Paracatu – MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2007, 120 p.

HADDAD, E. A. **Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio São Miguel, carste do Alto São Francisco, Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007, 156 p.

HANNA INSTRUMENTS, 2006b. **Manual de instruções, HI 98703 Turbidímetro Portátil**. Brasil, 2006.

HANNA INSTRUMENTS, 2006a. **Manual de instruções, HI 9828 Multiparâmetros.** Brasil, 2006.

HERMES, L. C. **Avaliação da qualidade das águas: manual prático.** Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004.

HERMES, L.C.; SILVA, A.S. **Avaliação da qualidade das águas: manual prático.** Brasília: EMBRAPA, Informação Tecnológica, 2004, 55p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM), 2015. **Relatório anual de gestão e situação dos recursos hídricos de Minas Gerais -2014.** Belo Horizonte, 2015, 142 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM), 2016. **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2015: resumo executivo.** Belo Horizonte, 2016. 179 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET), 2017. Gráficos das Estações automáticas. Disponível:
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>.
Acesso em 27 de mai. 2017.

JEFFERY, W.G. **A world of metals: finding, making and using metals.** 2nd ed. Ottawa: ICME, 2001, 60 p.

KRUG, F. J.; NÓBREGA, J. A.; OLIVEIRA, P. V. **Espectrometria de Absorção Atômica: Parte 1. Fundamentos e atomização com chama.** CENA/USP, DQ/UFSCar, IQ/USP, 2004.

LACERDA, M. O. **Paisagem e potencial turístico no Vale do Jequitinhonha: Caracterização geral da unidade de paisagem.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005, 173 p.

LEMES, M. J. L. **Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Prado, São Paulo.** Dissertação de Mestrado. Comissão nacional de energia nuclear instituto de pesquisas energéticas e nucleares – IPEN, 2001, 210 p.

LIMA, D. P. **Avaliação da contaminação por metais pesados na água e nos peixes da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Amazônia, Brasil.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amapá, 2013, 147 p.

LICHT, O. A. B. **Geoquímica multielementar na gestão ambiental: Identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná.** 2001. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, 2001, 236 p.

MAIA, Y. L. M. **Análise multielementar em água e sedimentos de corrente da bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte na região metropolitana de Goiânia e sua relação com a saúde.** Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Goiás, 2004, 86 p.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificações e fatos**. ProduQuímica, São Paulo, 1994, 153 p.

MARTINS, M.L. **A mineração de diamantes e a Administração Geral dos Terrenos Diamantinos: Minas Gerais, décadas de 1830-1870**. Seminário Diamantina, Cedeplar/FACE/UFMG, 2012.

MARTINS, M.L. **Mineração, identidade garimpeira e meio ambiente: os conflitos em torno da extração de diamantes no Alto Jequitinhonha, 1989 – 1995**. Associação Nacional de História, XXIV- Simpósio Nacional de História, p. 10, 2007.

MENEGOL S., MUCELIN C.A., JUCHEN C.R. **Avaliação das características físico-químicas do leito do Rio Alegria**. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Geoquímica, 2001.

MINERAIS DO PARANÁ S.A. (MINEROPAR), 2001. **Atlas geoquímico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2001.

MIRANDA, L. H. S. **Análise dos metais pesados e sua relação com o meio ambiente e a saúde na bacia do ribeirão Anicuns**. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Goiás, 2007, 139 p.

MIZUTARI, I. S. **Caracterização da qualidade das águas e meios peri urbanos: o caso da bacia hidrográfica do Rio Morto – RJ**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009, 162 p.

MORAES, G. M. **Distribuição dos metais pesados em sedimentos de fundo na bacia do altoTietê; fatores de enriquecimento e classes de poluição**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2011, 157 p.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002.

MORAES, L. A. F.; SOUZA FILHO, E. E. Indicadores ambientais e desenvolvimento sustentado. **Acta Scientiarum**, v.22, n.5, p.1405-1412, 2000.

MOZETO, A. A. **Crítérios de qualidade de sedimentos (CQS) para metais pesados: fundamentos teóricos**. São Carlos: UFSC, 2001. 86 p. Disponível em: <<http://www.dq.ufscar.br/Labs/biogeoquímica/pdf/relat.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1 / 2, p. 83-100, 2006.

NASCIMENTO, I. B. **Problemáticas socioambientais e implicações à saúde do trabalhador: o caso do garimpo de esmeraldas em Campos Verdes-GO**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2009, 169 p.

NEVES, S. C.; ABREU, P. A. A.; FRAGA, L. M. S. Fisiografia. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. A. O. (Org.s). **Serra do Espinhaço Meridional:**

paisagens e ambientes. O Lutador, 2005, p. 271.

NISSANI, M. Ten cheers for interdisciplinarity: The case for interdisciplinary knowledge and research. **Social Science Journal**, v. 34, n. 2, p. 202-217, 1997.

NOVOTNY, V. **Diffuse sources of pollution by toxic metal and impact on receiving water.** In: Salomons W. Förstner U. (eds.). Heavy metals: problems and solutions. Spring, Berlin, 1995, 33-53 p.

OLIVEIRA, W.; VIEIRA, V. C. A condição social e econômica do garimpeiro da cidade de Diamantina: uma história contada por seus protagonistas. **Revista Vozes dos Vales**, Diamantina, n. 2, Ano I, 10/2012.

OLIVEIRA, A. S. **Uso e ocupação do solo e a concentração de metais pesados no sedimento e na água: bacia do rio Pitimbu.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012, 75 p.

OLIVEIRA, M. R. **Investigação da contaminação por metais pesados da água e do sedimento de corrente nas margens do rio São Francisco e tributários, a jusante da represa da CEMIG, no município de Três Marias, Minas Gerais.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007, 150 p.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS), 1998. **Elementos traço na nutrição e saúde humanas.** São Paulo: Editora Roca, 1998, 318 p.

ORGANIZACIÓN PAN-AMERICANA DE LA SALUD (OPAS), 1990. **Protection Ambiental. XXIII.** Conferência Sanitária Panamerican XIII. Reunion del comité Regional (CPS/16), 1990.

PEREIRA, M. A. A. Domínio histórico-social. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. A. O. (Org.s). **Serra do Espinhaço Meridional: paisagens e ambientes.** O Lutador, 2005, p. 271.

PINTO, A. L. A água como indicador principal de sistemas ambientais. **Revista OKARA: Geografia em Debate**, v.4, n.1-2, p. 25-40, 2010.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA), 2009. **Clearing the waters: a focus on water quality solutions.** Nairobi, 2009, 157 p.

RELATÓRIO DA CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE A ÁGUA. Cap. I. Resolução II. Mar del Plata, p. 14-25, mar. 1977.

RIBEIRO, E. V. **Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010, 196 p.

RIBEIRO, E. V.; MAGALHÃES Jr. A. P.; HORN, A. H; TRINDADE, W. M. Metais pesados e qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora - MG: índice de contaminação. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, v. 20, n. 1, p. 49-63, 2012.

RIETZLER, A. C.; FONSECA, A. L.; LOPES, G. P. Heavy metals in tributaries of Pampulha Reservoir, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Biology**, v.61, n.3, p. 363-370, 2001. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/bjb/v61n3/7330.pdf>>. Acesso em 22 jan. de 2017.

ROHDE, G. M. **A geoquímica ambiental**. In: Geoquímica ambiental e estudos de impacto. 2 ed. São Paulo: Signus, 2004, 36-45 p.

RODRIGUES, W. F. **Concentrações de metais pesados em sedimentos fluviais de leito como sinalizadores de pressões antrópicas no entorno do Parque Nacional do Caparaó**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2015, 150 p.

RODRIGUEZ, A.F. Os caminhos das águas. **Agroanalysis** v. 18, n. 1, p. 22-61, 1998.

SAADI, A. A. Geomorfologia da Serra do Espinhaço de Minas Gerais e de suas margens. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 41-63, 1995. Disponível em: <<http://www.igc.ufmg.br/geonomos/conteudo>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

SALEM, H. M.; EWEIDA, E. A.; FARAG, A. **Heavy metals in drinking water and their environmental impact on human health**. ICEHM 2000, Cairo University, Egypt, September, 2000, 542- 556 p.

SANCHES, F. A. N. **Risco ambiental associado a actividades mineiras abandonadas na região centro de Portugal - possíveis impactes na saúde humana**. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Castelo Branco, 2012, 76 p.

SANTOS, A. C. **Noções de hidrogeoquímica**. In: FILHO, J. M.; FEITOSA, F.A. C. (Org.) Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM/LABHID-UFPE, 1997.

SANTOS, R. M; MOREIRA, R. A; ROCHA, O. **Composição e abundância do zooplâncton em um córrego urbano**. IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 3, p. 18-32, 2013.

SCLIAR, C. Dotação mineral, meio ambiente e desenvolvimento no Alto Jequitinhonha. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, v. 1, n. 3, p. 65-75, 2006.

SARWAR, N.; IMRAN, M.; SHAHEEN, M. R.; ISHAQ, W.; KAMRAN, A.; MATLOOB, A.; REHIM, A.; HUSSAIN, S. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. **Chemosphere**, v. 12, n.1, p. 1-50, 2016.

SELINUS, O. Medical geology: an emerging speciality. Thematic Contribution. **Revista Terrae**, v. 1, 2004.

SHOKR, E. A. M.; ALHAZEMI, A.; NASER, T.; ZUHAIR, T. A.; ZUHAIR, A. A.; ALSHAMARY, A. N.; ALANAZI, T. A.; ALANAZI, H. A. Chronic renal failure associated with heavy metal contamination of drinking water in Hail, KSA. **Merit Research Journal of Medicine and Medical Sciences**, v. 1, n. 5. p. 06-13, 2016.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A.; **Princípios de análise instrumental**, 5ª ed., Bookman: Porto Alegre, 2002.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, v. 1, n. 8, nov. 2007.

SILVEIRA, L. R.; MENDONÇA, R. G. Qualidades das águas superficiais na área de influência direta da mineração de brita na região Central – TO. **Revista Estudos, Goiânia**, v. 38, n. 2, p. 235-248, 2011.

SOUZA, L. C. D.; CARVALHO, M. A. C.; CORRÊA, B. S.; SILVA, M. P. Consequências da atividade garimpeira nas margens do Rio Peixoto de Azevedo no perímetro urbano do município de Peixoto de Azevedo – MT. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 220-231, 2008.

THIESEN, J.S. A interdisciplinaridade como um movimento de articulação no processo ensinoaprendizagem. **PerCursos**, Florianópolis, v. 8, n. 1, p. 87-102, jan./jun. 2007.

TOMAZELLI, A. C. **Estudo comparativo das concentrações de cádmio, chumbo e mercúrio em seis bacias hidrográficas do Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2003, 124 p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. Editora RIMA. São Paulo, 2003, 247 p.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001, 156 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI (UFVJM), 2012. **Regulamento do curso de Pós-Graduação *Stricto sensu* Mestrado profissional em Saúde, Sociedade e Ambiente**. Diamantina. 2012.

VARGAS, E. V. Água e relações internacionais. **Revista Brasileira de Política Internacional**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 178-182, jan./jun. 2000.

VAZ, D. S.; REMOALDO, P. C. A. A geografia da saúde brasileira e portuguesa: algumas considerações conceituais. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n.29 - Especial, p. 173–192, 2011.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007, 588 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **The Ottawa charter for health promotion**. Geneve, 1986.

**APÊNDICE A: CARACTERÍSTICAS DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO
ESPECÍFICAS PARA LEITURA DE CADA ELEMENTO QUÍMICO.**

Elemento	Compr. de onda	Faixa de trabalho µg/ml	Corrente da lâmpada	Combustível	Suporte	Estequiometria de chama
Cd	228,8	0,2 - 3,0	4 mA	acetileno	ar	Oxidante
Cu	324,7	0,03 - 10,0	4 mA	acetileno	ar	Oxidante
Fe	248,3	0,06 - 15,0	5mA	acetileno	ar	Oxidante
Mn	279,5	0,02 - 5,0	5 mA	acetileno	ar	Oxidante
Ni	232,0	0,01 - 20,0	4 mA	acetileno	ar	Oxidante
Pb	217,0	0,01 - 30,0	5 mA	acetileno	ar	Oxidante
Zn	213,9	0,01 - 2,0	5 mA	acetileno	ar	Oxidante
P	725,0	-	UV Visível	-	-	-

***Fonte de radiação do equipamento: lâmpada de cátodo oco.**